

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería Mecánica



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

***INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN
TODOTERRENO EN LAS LESIONES
SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO
DE ATROPELLO***

AUTOR: GUILLERMO MAUDES COMENDADOR

TUTOR: CAROLINA ÁLVAREZ CALDAS

LEGANÉS, 15 ABRIL 2010



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.3	ESTRUCTURA DEL PROYECTO	4
2	INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LOS ATROPELLOS	5
2.1	INTRODUCCIÓN	5
2.2	ESTADÍSTICAS DE ATROPELLOS	6
2.2.1	SITUACIÓN EN EL MUNDO	6
2.2.2	SITUACIÓN EN EUROPA	11
2.2.3	SITUACIÓN EN ESPAÑA	16
2.3	CAUSAS DE LOS ATROPELLOS	20
2.4	FASES DE UN ATROPELLO	28
2.4.1	PREIMPACTO	29
2.4.2	IMPACTO	34
2.4.3	POSTIMPACTO	35
2.5	TIPOLOGÍAS DE UN ATROPELLO	36
2.5.1	TRAYECTORIA DE ENVOLVIMIENTO (WRAP TRAJECTORY)	37
2.5.2	PROYECCIÓN HACIA DELANTE (FORWARD PROJECTION)	37
2.5.3	TRAYECTORIA DE VOLTEO SOBRE LA ALETA (FENDER VAULT)	38
2.5.4	TRAYECTORIA DE VOLTEO SOBRE EL TECHO (ROOF VAULT)	39
2.5.5	SALTO MORTAL (SOMERSAULT)	39
2.6	LESIONES	40
2.6.1	Acercamiento epidemiológico a las lesiones observadas en peatones atropellados	41
2.6.2	Análisis de las lesiones producidas por el atropello por registros anatómicos	44
2.7	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE ATROPELLOS	52
2.7.1	MEDIDAS LEGALES	52
2.7.2	MEDIDAS EN INFRAESTRUCTURAS	53
2.7.3	MEDIDAS DE EDUCACIÓN, DIVULGACIÓN Y CONCIENCIACIÓN	55
2.7.4	MEDIDAS TÉCNICAS ADOPTADAS EN LOS VEHÍCULOS	57
3	LOS ENSAYOS DE ATROPELLO	65
3.1	INTRODUCCIÓN	65
3.2	REGULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ATROPELLO	67
3.2.1	DIRECTIVAS EUROPEAS	67
3.2.1.1	Directiva 2003/102/CE	68
3.2.1.1.1	EEVC	70
3.2.1.1.2	PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE LA DIRECTIVA 2003/102/CE	71
3.2.1.1.2.1	DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS	72
3.2.1.1.2.2	ENSAYOS	77
3.2.1.1.2.2.1	ENSAYO DE IMPACTO DE LA PIERNA CONTRA EL PARAGOLPES DEL VEHÍCULO (LEGFORM IMPACTOR)	80



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

3.2.1.1.2.2.2	ENSAYO DE IMPACTO DE MUSLO CONTRA EL PARAGOLPES DEL VEHÍCULO (UPPER LEGFORM IMPACTOR).	83
3.2.1.1.2.2.3	ENSAYO DE IMPACTO DE MUSLO CONTRA EL BORDE ANTERIOR DEL CAPÓ DEL VEHÍCULO (UPPER LEGFORM IMPACTOR).	85
3.2.1.1.2.2.4	ENSAYO DE IMPACTO DE LA CABEZA CONTRA LA SUPERFICIE SUPERIOR DEL CAPÓ (HEADFORM IMPACTOR).	89
3.2.1.1.2.2.5	ENSAYO DE IMPACTO DE LA CABEZA DEL ADULTO CONTRA EL PARABRISAS (HEADFORM IMPACTOR).	94
3.2.2	ORGANISMOS NCAP	95
3.2.2.1	EURONCAP	95
3.2.2.2	ENSAYOS:	97
3.2.2.2.1	CHOQUE FRONTAL	99
3.2.2.2.2	IMPACTO LATERAL	99
3.2.2.2.3	TEST DEL POSTE	100
3.2.2.2.4	WHIPLASH	101
3.2.2.2.5	ATROPELLO DE PEATONES	101
3.2.2.2.6	SEGURIDAD INFANTIL	103
3.3	SUBSISTEMAS O IMPACTADORES	104
3.3.1	IMPACTADOR SIMULADOR DE MIEMBRO INFERIOR	106
3.3.2	IMPACTADOR SIMULADOR DE MUSLO Y PELVIS	108
3.3.3	IMPACTADOR SIMULADOR DE CABEZA	110
3.4	SISTEMAS DE TAMAÑO REAL	112
3.4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DUMMIES	112
3.4.2	HISTORIA	115
3.4.2.1	EVOLUCIÓN DEL DUMMY	117
3.4.3	EMPRESAS	122
3.4.4	TIPOS	123
3.4.4.1	DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO FRONTAL	124
3.4.4.1.1	HYBRID III	124
3.4.4.1.2	THOR	128
3.4.4.2	DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO LATERAL	132
3.4.4.2.1	SID	132
3.4.4.3	DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO TRASERO	133
3.4.4.3.1	BIORID II	133
3.4.4.4	DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE ATROPELLO	135
3.4.4.4.1	HYBRID III PEDESTRIAN	135
3.4.4.4.2	POLAR II	137
3.4.4.4.3	POLAR III	139
3.4.4.5	DUMMIES VIRTUALES:	141
3.4.4.5.1	THUMS	141
3.5	SIMULACIÓN POR ORDENADOR	144
3.5.1	TIPOS DE PROGRAMAS	146
3.5.1.1	PROGRAMAS DE DISEÑO	146
3.5.1.2	PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	147
3.5.1.2.1	MÉTODO ELEMENTOS FINITOS (MEF)	148
3.5.1.2.2	MULTICUERPOS	150
4	PREPARACIÓN DE LAS SIMULACIONES	155



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

4.1	INTRODUCCIÓN AL MODELADO.....	155
4.1.1	EL VEHÍCULO.....	156
4.1.2	EL DUMMY.....	164
4.2	INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN.....	167
4.2.1	SIMULACIONES.....	169
4.2.1.1	PRIMER BLOQUE: VEHÍCULO Y DUMMY.....	169
4.2.1.1.1	PRIMERA SIMULACIÓN.....	169
4.2.1.1.2	SEGUNDA SIMULACIÓN.....	190
4.2.1.2	SEGUNDO BLOQUE: VEHÍCULO E IMPACTADOR.....	194
4.2.1.2.1	TERCERA SIMULACIÓN.....	194
4.2.1.2.2	CUARTA SIMULACIÓN.....	202
5	ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES.....	205
5.1	PRIMERA Y SEGUNDA SIMULACIÓN.....	208
5.2	TERCERA Y CUARTA SIMULACIÓN.....	216
5.3	TODAS LAS SIMULACIONES.....	222
5.4	CONCLUSIONES.....	228
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	230
6.1	CONCLUSIONES.....	230
6.2	TRABAJOS FUTUROS.....	233
7	BIBLIOGRAFÍA.....	235
8	ANEXO I.....	243
9	ANEXO II.....	257

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema del mecanismo completo del preimpacto	31
Figura 2.2 - Secuencia de impactos entre peatón y automóvil	34
Figura 2.3 - Trayectoria de envolvimiento (Wrap Trajectory: adulto y niño [97])	37
Figura 2.4 - Proyección hacia delante (Forward Projection) [97]	38
Figura 2.6 - Volteo sobre el techo (Roof Vault) [97]	39
Figura 2.7 – Salto mortal (somersault) [97]	39
Figura 2.8 - Regiones del cuerpo lesionadas y trayectorias de la cabeza. [125]	43
Figura 2.9 - Distribución de las lesiones corporales pro atropello y las zonas del vehículo que las producen	44
Figura 2.10 - Lesiones principales producidas de las extremidades inferiores del peatón a consecuencia del atropello. [125] [3]	49
Figura 2.11 - Criterios lesionales	51
Figura 2.12 - Límites lesionales	51
Figura 2.13 - Paso de peatones de distinto nivel –pasarela elevada- (izda) y paso peatones -badén- (drcha)	54
Figura 2.14 - Muro virtual. [93]	55
Figura 2.15 - Kart Seguridad Vial.	56
Figura 2.16 - Sistema de night visión de BMW.	57
Figura 2.17 - Esquema de funcionamiento del sistema de detección de obstáculos montado en el Lexus LS600h	58
Figura 2.18 - Se puede evitar un atropello	58
Figura 2.19 - Sistema de seguridad en ciudad (city safety).	59
Figura 2.20 - Distinto diseños de capós: diseño tradicional (arriba), diseños actuales multicono variando la rigidez (abajo). [47]	60
Figura 2.21 - Ejemplos de airbags situados en el frontal del vehículo para proteger al peatón en caso de atropello.	61
Figura 2.22 - Secuencia funcionamiento del sistema pop-up	62
Figura 2.23 - Detalle del sistema pop-up montando en el Citroën C6.	62
Figura 2.24 - Detalles del sistema	63
Figura 3.1 - Determinación de la línea de referencia superior del paragolpes delantero	72
Figura 3.2 - Determinación de la línea de referencia inferior del paragolpes delantero.	72
Figura 3.3 - Determinación del ángulo del paragolpes delantero.	73
Figura 3.4 - Determinación del WAD ó Distancia Perimétrica del cuerpo del peatón sobre el frontal.	74
Figura 3.5 - Determinación de la línea de referencia del borde anterior del capó	74
Figura 3.6 - Determinación de la línea de referencia lateral del capó	75
Figura 3.7 - Determinación del punto de referencia angular, punto de intersección entre la línea de referencia del borde anterior del capó y la línea de referencia lateral del capó	75
Figura 3.8 - Determinación de la línea de referencia posterior del capó	76
Figura 3.9 - Extensión de la línea de referencia posterior del capó para que enlace con la línea de referencia lateral del capó siguiendo la circunferencia de la plantilla (vista cenital del ángulo posterior del capó)	76
Figura 3.10 - Determinación de la plantilla e indicación de los puntos empleados para enlazar las líneas de referencia posterior y lateral del capó	76
Figura 3.11 - Determinación de la línea de referencia posterior del parabrisas	77
Figura 3.12 - Esquema de los ensayos a realizar en un vehículo automóvil	79
Figura 3.13 - Ensayo de la pierna - paragolpes con vehículo completo en disposición normal de circulación (izquierda) y con vehículo completo o subsistema montado sobre resortes (derecha). ...	80
Figura 3.14 - Bastidor antropomórfico simulador de pierna – muslo.	80
Figura 3.15 - Márgenes de tolerancia de los ángulos para el impactador simulador de la pierna en el instante del primer contacto	81
Figura 3.16 - Bastidor antropomórfico simulador del muslo (upper legform).	83

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Figura 3.17 - Ensayo de impacto muslo-paragolpes opcionalmente en los casos en los que la altura del paragolpes sea superior a los 500 mm	83
Figura 3.18 - Ensayo de impacto del muslo contra el borde anterior del capó (Upper legform).	85
Figura 3.19 - Impactador para ensayo sobre la superficie del capó del vehículo.....	89
Figura 3.20 - Ensayo de impacto del bastidor antropomórfico simulador de la cabeza de peatón sobre el capó.	89
Figura 3.21 - Delimitación de la "Zona A" y de la "Zona B" en la superficie superior del capó.....	90
Figura 3.22 - Ejemplo del área de impacto de cabeza del peatón niño sobre la superficie de un capó. ...	91
Figura 3.23 - Diseño del capó del automóvil. [75].....	92
Figura 3.24 - Delimitación del área de ensayo sobre el parabrisas del vehículo.....	94
Figura 3.25 - Pruebas y características de las pruebas EuroNCAP.....	97
Figura 3.26 - Prueba choque frontal EuroNCAP.	99
Figura 3.27 - Prueba impacto lateral EuroNCAP.....	100
Figura 3.28 - Prueba test de poste EuroNCAP.	100
Figura 3.29 - Prueba whiplash EuroNCAP.....	101
Figura 3.30 - Código de colores en el ensayo de un atropello EuroNCAP.	102
Figura 3.31 - Divisiones en la zona delantera de un vehículo para la realización de ensayos de atropello.	102
Figura 3.32 - Esquema de impactador de miembro inferior.....	106
Figura 3.33 - Impactador de miembro inferior.	107
Figura 3.34 - Ensayo realizado con impactador de miembro inferior.	107
Figura 3.35 - Esquema de impactador de muslo y pelvis.....	108
Figura 3.36 - Impactador de muslo y pelvis.	109
Figura 3.37 - Esquema de Impactador de cabeza niño (izda.) y cabeza adulto (dcha.).	111
Figura 3.38 - Impactador de cabeza.	111
Figura 3.39 - Maniquí Sierra Sam.....	117
Figura 3.40 - Dummy Oscar.	118
Figura 3.41 - Dummy Gard.....	118
Figura 3.42 - Familia dummies Hybrid III.	120
Figura 3.43 - Dummies EUROSID, SID, BIOSID.	120
Figura 3.44 - Dummy THOR.	121
Figura 3.45 - Dummy virtual THUMS.	122
Figura 3.46 - Clasificación de los dummies.	123
Figura 3.47 - Elementos que componen el dummy Hybrid III.	124
Figura 3.48 - Hybrid III de percentil 50%.	126
Figura 3.49 - Hybrid III de percentil 95% masculino.	126
Figura 3.50 - Hybrid III de percentil 5% femenino.	127
Figura 3.51 - Hybrid III infantil de 3 años.....	127
Figura 3.52 - Hybrid III infantil de 6 años.....	128
Figura 3.53 - Hybrid III infantil de 6 años.....	128
Figura 3.54 - THOR.	129
Figura 3.55 - Dummy SID.	132
Figura 3.56 - Dummy bioRID.....	134
Figura 3.57 - Estructura dummy bioRID.....	134
Figura 3.58 - Dummy Hybrid III Pedestrian.....	135
Figura 3.59 - Elementos que componen el dummy Polar II.....	137
Figura 3.60 - Polar II.....	138
Figura 3.61 - Modificaciones realizadas en el Polar II para la creación del Polar III.	139
Figura 3.62 - Modificaciones en cada segmento del dummy Polar II para la creación del Polar III.....	140
Figura 3.63- Diseño de cada segmento del dummy THUMS.	142
Figura 3.64 - Distribuciones de esfuerzos en las piernas en el atropello con un vehículo turismo (arriba) y un vehículo todoterreno (abajo).....	142
Figura 3.65 - Dummy infantil virtual	142
Figura 3.66 - Modelo de cabeza para el estudio de presión y tensión en el cerebro durante un impacto.	143
Figura 3.67 - Autocad.....	146

Figura 3.68 – Conjuntos Solid Edge.	147
Figura 3.69 - LS-DYNA.	150
Figura 3.70 – MADYMO.	151
Figura 3.71 - PC-CRASH.....	152
Figura 3.72 - PAM-CRASH.	153
Figura 4.1 - Pantalla principal Solid Edge.....	156
Figura 4.2 – Vistas del vehículo elegido: Mercedes-Benz clase M [87]	157
Figura 4.3 - Comparativa pruebas EuroNCAP entre todoterrenos. [42].....	157
Figura 4.4 - Puntuación pruebas EuroNcap para Mercedes-Benz clase M. [42]	158
Figura 4.5 - Planos Mercedes-Benz clase M.	160
Figura 4.6 - Proceso modelado vehículo.	161
Figura 4.7 - Proceso proyección y recorte de superficies.	162
Figura 4.8 - Vistas vehículo modelado - Sin defensa.	162
Figura 4.9 - Modelado de la defensa.	163
Figura 4.10 - Vistas vehículo modelado - Con defensa.....	163
Figura 4.11 - Vehículo modelado preparado para ANSYS LS-DYNA.	164
Figura 4.12 - Dummies LS-DYNA.....	164
Figura 4.13 - Comparación entre el modelo completo y el modelo reducido.....	165
Figura 4.14 - a) Vistas dummy de referencia. b) Vistas del dummy en los planos del triédrico.....	165
Figura 4.15 - Dummy con rótulas.	166
Figura 4.16 - Dummy simplificado.	166
Figura 4.17 - Ventana principal ANSYS LS-DYNA.	168
Figura 4.18 – Ventana ANSYS LS-DYNA para importar archivos.....	170
Figura 4.19 – Vehículo importado	170
Figura 4.20 – Mitad del vehículo (izda.) y creación de la simetría (dcha.).	171
Figura 4.21 – Elemento Thin Shell 163	171
Figura 4.22 – Ventana ANSYS LS-DYNA elección elemento.....	172
Figura 4.23 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir constantes reales.	173
Figura 4.24 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir las propiedades del material correspondiente a los cristales.	175
Figura 4.25 – Ficha técnica del acero elegido para el vehículo.	176
Figura 4.26 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir las propiedades de los materiales correspondientes a cada parte del vehículo.....	177
Figura 4.27 – Ventana ANSYS LS-DYNA para vincular cada parámetro con cada parte del vehículo.	178
Figura 4.28 – Ventana ANSYS LS-DYNA para realizar el mallado.....	178
Figura 4.29 – Mallado de cada parte del vehículo y vehículo completo.	179
Figura 4.30 – Ventana ANSYS LS-DYNA para creación de parts.	180
Figura 4.31 – Ventana ANSYS LS-DYNA para creación de components.....	180
Figura 4.32 – Dummy importando en el sistema.	181
Figura 4.33 – Simplificación del dummy en el sistema.....	181
Figura 4.34 – Elemento Solid 164	182
Figura 4.35 - Características del material para el dummy. [31d].....	183
Figura 4.36 – Mallado de cada parte del dummy y dummy completo.....	184
Figura 4.37 - Uniones entre las partes del dummy.	185
Figura 4.38 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir los parámetros correspondiente a las uniones.	186
Figura 4.39 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la creación de los elementos viga para las uniones.	186
Figura 4.40 – Ventana ANSYS LS-DYNA para crear los contactos entre el dummy y el vehículo.	188
Figura 4.41 – Ventana ANSYS LS-DYNA para definir las velocidades.....	189
Figura 4.42 – Ventana ANSYS LS-DYNA para definir el tiempo de simulación.	189
Figura 4.43 – Ventana ANSYS LS-DYNA para comenzar la simulación.....	190
Figura 4.44 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la eliminación de la part correspondiente a la defensa.	190
Figura 4.45 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar mallado de la defensa.....	191
Figura 4.46 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar las áreas y líneas que definen la defensa.....	191
Figura 4.47 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar contactos.	193
Figura 4.48 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar velocidad correspondiente a la defensa.	193
Figura 4.49 – Sistema de partida para la tercera simulación.	194



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Figura 4.50 – Impactador.	195
Figura 4.51 – Sistema vehículo impactador.....	195
Figura 4.52 – Ficha técnica del aluminio elegido para el impactador.	196
Figura 4.53 – Impactador mallado.....	197
Figura 4.54 – Sistema vehículo con defensa e impactador mallado.	198
Figura 4.55 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir los parámetros correspondientes a las uniones.	199
Figura 4.56 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la creación de los elementos viga para las uniones.	199
Figura 4.57 – Ventana ANSYS LS-DYNA para crear los contactos entre el vehículo y el impactador.	200
Figura 4.58 - Ventana ANSYS LS-DYNA para definir las velocidades.	201
Figura 4.59 – Sistema vehículo sin defensa e impactador mallado.....	202
Figura 5.1 – Sistema de referencia y movimiento del vehículo.....	207

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1 - Países y entidades integrantes de IRTAD (International Road Traffic and Accident Database) . 7	
Tabla 2.2 - Distribución de los peatones fallecidos en los últimos años en los países miembros de IRTAD.9	
Tabla 2.3 - Porcentaje de atropellos producidos en los países integrantes de IRTAD [62]	10
Tabla 2.4 - Número total de fallecidos en atropellos (año 2005)	12
Tabla 2.5 - Víctimas mortales durante los años 2003, 2006 y 2007	16
Tabla 2.6 - Distribución de los fallecidos en carretera en España, en función del tipo de accidente.	17
Tabla 2.7 - Distribución de los fallecidos en zona urbana en España, en función del tipo de accidente. ..	17
Tabla 2.8 - Resumen de estadísticas sobre condiciones meteorológicas-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).	20
Tabla 2.9 - Resumen de estadísticas sobre luminosidad-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).	21
Tabla 2.10 - Resumen de estadísticas sobre defectos en vehículos-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).	23
Tabla 2.11 - Resumen de estadísticas sobre antigüedad de los vehículos-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).	23
Tabla 2.12 - Distribución de las lesiones (AIS 2-6) apreciadas en peatones atropellados [90]	42
Tabla 2.13 - Correspondencia entre los niveles de la escala AIS, su severidad y fatalidad.	42
Tabla 2.14 - Ejemplo de lesiones según su nivel en la escala AIS.	43
Tabla 2.15 – Valores límite de las fuerzas y momentos aplicados a las extremidades inferiores.[125]	50
Tabla 2.16 - Porcentaje de atropellos.....	52
Tabla 3.1 - Mínimo número de impactos requeridos para cada ensayo.	78
Tabla 3.2 - Mínimo número de impactos requeridos para el impacto de cabeza.....	90
Tabla 3.3 – Niveles de tolerancia en el cuerpo humano según distintas magnitudes.....	105
Tabla 3.4 – Instrumentación Hybrid III.	125
Tabla 3.5 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 50%.	126
Tabla 3.6 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 95% masculino.	126
Tabla 3.7 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 5% femenino. .	127
Tabla 3.8 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 3 años.	127
Tabla 3.9 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 6 años.	128
Tabla 3.10 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 6 años.	128
Tabla 3.11 – Masas de cada segmento del dummy THOR.....	129
Tabla 3.12 – Instrumentación THOR.....	130
Tabla 3.13 – Diferencias entre los dummies Hybrid III y THOR.	131
Tabla 3.14 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy SID.	132
Tabla 3.15 – Instrumentación SID.	133
Tabla 3.16 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy bioRID.	134
Tabla 3.17 – Instrumentación bioRID	134
Tabla 3.18 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III Pedestrian.	135
Tabla 3.19 – Instrumentación Hybrid III Pedestrian.	136
Tabla 3.20 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Polar II.....	138
Tabla 3.21 – Instrumentación Polar II.....	138
Tabla 3.22 – Masas de cada segmento del dummy Polar III.	140
Tabla 3.23 – Instrumentación Polar III.....	141
Tabla 4.1 - Tipo de elemento vehículo.	171
Tabla 4.2 - Constantes reales para el vehículo.	173
Tabla 4.3 - Material de los cristales.	174
Tabla 4.4 - Materiales de cada parte del vehículo.....	176
Tabla 4.5 – Propiedades material carrocería.....	176
Tabla 4.6 - Parámetros introducidos en LS-DYNA para el vehículo.	177
Tabla 4.7 - Tipo de elemento para el dummy.....	182



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 4.8 - Material de cada parte del dummy	183
Tabla 4.9 – Propiedades material dummy.....	183
Tabla 4.10 - Parámetros introducidos en LS-DYNA para el dummy.	184
Tabla 4.11 - Tipo de elemento para las uniones.....	185
Tabla 4.12 - Constantes reales para las uniones del dummy.	185
Tabla 4.13 - Material para cada unión.....	185
Tabla 4.14 - Parámetros introducidos en LS-DYNA para cada unión.....	185
Tabla 4.15 - Contactos creados entre el dummy y el vehículo para la primera simulación.	187
Tabla 4.16 - Velocidades definidas.	188
Tabla 4.17 - Cambios en contactos para segunda simulación.	192
Tabla 4.18 - Medidas impactador.....	194
Tabla 4.19 - Tipo de elemento para el impactador.	195
Tabla 4.20 - Material del impactador.	197
Tabla 4.21 – Parámetros introducidos en LS-DYNA para el impactador.	197
Tabla 4.22 - Tipo de elemento para las uniones.....	198
Tabla 4.23 - Constantes reales para las uniones del impactador.	198
Tabla 4.24 - Material para la unión del impactador.	198
Tabla 4.25 – Parámetros introducidos en LS-DYNA para la unión del impactador.	199
Tabla 4.26 - Contactos creados entre el dummy y el vehículo para la tercera simulación.	200
Tabla 4.27 - Velocidades definidas.	201
Tabla 4.28 - Cambios en contactos para cuarta simulación.	203
Tabla 5.1 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.	209
Tabla 5.2 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.	209
Tabla 5.3 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.	209
Tabla 5.4 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.....	211
Tabla 5.5 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.	211
Tabla 5.6 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.	211
Tabla 5.7 – Tensiones máximas en la pelvis en la primera y segunda simulación.	213
Tabla 5.8 – Aceleraciones máximas en la pelvis en la primera y segunda simulación.	213
Tabla 5.9 – Desplazamientos máximos en la pelvis en la primera y segunda simulación.	213
Tabla 5.10 – Tensiones máximas en el vehículo en la primera y segunda simulación.	215
Tabla 5.11 – Aceleraciones máximas en el vehículo en la primera y segunda simulación.....	215
Tabla 5.12 – Desplazamientos máximos en el vehículo en la primera y segunda simulación.....	215
Tabla 5.13 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación.	217
Tabla 5.14 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación. ..	217
Tabla 5.15 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación.	217
Tabla 5.16 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.	219
Tabla 5.17 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.	219
Tabla 5.18 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.	219
Tabla 5.19 – Tensiones máximas en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.	221
Tabla 5.20 – Aceleraciones máximas en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.	221
Tabla 5.21 – Desplazamientos máximos en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.	221
Tabla 5.22 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.....	223
Tabla 5.23 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.....	223
Tabla 5.24 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.	223
Tabla 5.25 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.....	225
Tabla 5.26 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.	225
Tabla 5.27 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.	225
Tabla 5.28 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.....	227
Tabla 5.29 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.....	227
Tabla 5.30 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.	227

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Variación de la media anual de accidentes de tráfico [62]	8
Gráfico 2.2 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones /millón de habitantes	12
Gráfico 2.3 - Muertes en carretera 2005. Peatones muertos en pasos de peatones/millón de habitantes	12
Gráfico 2.4 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/millón de habitantes	13
Gráfico 2.5 - Muertes en carreteras en 2005. Muertes de peatones/muertes en carretera en total.....	13
Gráfico 2.6 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones en pasos de peatones/muertes en carretera en total.....	14
Gráfico 2.7 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/muertes en carretera en total.....	14
Gráfico 2.8 - Muertes de carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/muertes de peatones en total.....	15
Gráfico 2.9 - Estadística sobre víctimas y fallecidos en carretera o en zona urbana.....	16
Gráfico 2.10 - Evolución de las víctimas de atropello en España durante los últimos años.....	18
Gráfico 2.11 - Porcentaje de cada tipo de trayectoria postcolisión posible seguidas por los peatones en casos de atropello	36
Gráfico 2.12 - Curva de correlación entre el riesgo de lesiones cerebrales y el índice HIC a 15ms. [18] ...	46
Gráfico 3.1 - Velocidad de ensayo “upper legform” en función de la geometría frontal del vehículo.	86
Gráfico 3.2 - Ángulo de ensayo “upper legform” en función de la geometría frontal del vehículo.	86
Gráfico 3.3 - Energía cinética de ensayo “upper legform” en función de la geometría frontal del vehículo.	87
Gráfico 3.4 – Distribución de las heridas de los peatones atropellados.	104
Gráfico 5.1 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en la primera y segunda simulación.	208
Gráfico 5.2 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en la primera y segunda simulación.	210
Gráfico 5.3 – Tensión, aceleración y desplazamiento en la pelvis obtenidas en la primera y segunda simulación.	212
Gráfico 5.4 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en la primera y segunda simulación.	214
Gráfico 5.5 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.	216
Gráfico 5.6 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.	218
Gráfico 5.7 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.	220
Gráfico 5.8 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en las simulaciones.	222
Gráfico 5.9 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en las simulaciones.	224
Gráfico 5.10 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en las simulaciones.	226

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El parque automovilístico en el mundo está aumentado de manera exponencial. Este hecho está propiciado por la necesidad imperiosa del ser humano de poder desplazarse de un lugar a otro sin utilizar el transporte público. La consecuencia más inmediata en el aumento de la densidad circulatoria en las calles y carreteras de hoy en día.

No es de extrañar que a la vez que aumentan los vehículos, el riesgo de que se produzca un accidente de tráfico también vaya en aumento. Existen diferentes tipos de accidentes: aquellos en los que exclusivamente se ven implicados uno o varios vehículos y aquellos en los que se ve implicado al menos un peatón. Esta segunda categoría está constituida, principalmente, por los atropellos.

Hasta la fecha, las grandes marcas de automóviles han invertido su presupuesto mayoritariamente en el desarrollo de mecanismos de seguridad cuyo objetivo se focaliza en la prevención de daños de los ocupantes del vehículo en el momento de un accidente, no prestando atención a los daños producidos a un peatón. Avanzada notablemente la investigación y desarrollo de dichos sistemas, los esfuerzos se dirigen ahora a la prevención de los daños causados al entorno en el que se desenvuelve el automóvil: los peatones, el medio ambiente...

Los informes de seguridad vial sobre accidentalidad coinciden en que los usuarios de la vía que más daños sufren en un accidente tráfico son los peatones, motoristas y ciclistas. Estas personas son las más vulnerables por no encontrarse en el interior de un vehículo. Gracias a los datos reflejados por las estadísticas, la población y las grandes empresas de automoción están concienciándose de que es necesaria una potenciación de la seguridad vial haciendo mayor hincapié en la siniestralidad en la que un peatón está implicado.

Uno de los organismos internacionales que merece especial mención es EuroNCAP, que trabaja en realizar diferentes test a los vehículos modernos, con el objetivo de calificar y dar a conocer la seguridad que ofrecen los automóviles tanto a los ocupantes del mismo como a las personas atropelladas. La mayoría de los automóviles obtienen puntuaciones elevadas en los test de impacto de un vehículo, pero fallan estrepitosamente en el test de atropello a un peatón. Revisando los datos obtenidos, se concluye que no todas las categorías de vehículos producen el mismo nivel de daño al peatón atropellado, despuntando los vehículos todoterreno como los automóviles más agresivos en este tipo de colisiones.

Existen multitud de accesorios que se pueden incorporar a un vehículo con la finalidad de mejorar su comportamiento dinámico o su estructura, consiguiendo que sea

más resistente frente a ciertos esfuerzos que el modelo básico no soportaría. Pero muchos de estos componentes también modifican la seguridad que ofrece el vehículo y no siempre positivamente. Ejemplo de ello puede ser la defensa delantera. Este extra consiste en una estructura rígida que se ancla al chasis del vehículo y que le confiere una mayor protección frente a cualquier impacto. El problema es que en caso de colisión con una persona, es decir, en un atropello, la defensa perjudica seriamente al peatón

A la vista de la situación existente en el tema de los atropellos es necesario buscar nuevas soluciones. Para ello, es necesario invertir más en investigación y desarrollo de nuevos sistemas para la prevención y minimización de las consecuencias de los accidentes en los que se ven involucrados un vehículo y un peatón. Por ello, en la actualidad, está cobrando cada vez mayor importancia el estudio biocinemático y dinámico de un peatón al ser atropellado por un automóvil.

La realización de este Proyecto Fin de Carrera ha sido motivada por la crítica situación que existe en el tema de seguridad de los peatones en un atropello y que ha sido expuesta anteriormente. Al tratarse de un tema muy complejo con muchos parámetros a estudiar es necesario acotar el ámbito objeto de cada estudio

En la actualidad, el automóvil se ha convertido en un signo del status social de su propietario, asociándose la imagen de un vehículo grande y potente con un vehículo seguro; pero esto no siempre es cierto. Los automóviles todoterreno han experimentado un gran progreso en la última década en cuanto a la seguridad de sus ocupantes, pero en cambio son estos mismos vehículos los que en materia de atropellos son más agresivos y los que provocan lesiones más severas al peatón atropellado. Este extremo conlleva un serio peligro, pues estos automóviles están en auge llenando cada vez más las calles y carreteras. Además, este tipo de automóviles suelen llevar montada la defensa delantera, agravando la desprotección de los peatones.

Por estas razones, el presente Proyecto se centra en el estudio de la influencia que tiene la defensa delantera en un todoterreno en las lesiones provocadas en el peatón motivadas por un atropello.

El creciente avance de las computadoras y el desarrollo de poderosos sistemas de software permiten a los diseñadores de equipos mecánicos resolver, simular y optimizar sistemas complejos facilitando la resolución de problemas ingenieriles actuales.

Para la realización de este proyecto se ha hecho uso de algunos de estos eficaces y eficientes programas. En particular se van a utilizar dos softwares diferentes para llevar a cabo el estudio propuesto. Para modelar el vehículo con el que se va a simular el atropello y el dummy, que hará las veces de peatón, se utilizará el software Solid Edge. Para definir todos los parámetros, realizar las simulaciones necesarias y obtener los resultados pertinentes para conocer el comportamiento tanto del dummy como del vehículo se hará uso de un software llamado ANSYS LS-DYNA.

Resumiendo, el Proyecto consiste en simular un atropello con un vehículo todoterreno con y sin defensa montada para apreciar y corroborar el plus de agresividad de este componente en el impacto persona-coche.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos que se pretenden cumplir en el presente Proyecto Fin de Carrera son los siguientes:

- ❖ Tratar, de forma breve, algunos de los aspectos más importantes e interesantes que están relacionados con los accidentes de tráfico y en especial los atropellos como pueden ser: las estadísticas de los últimos años, las lesiones más comunes y frecuentes que puede sufrir un peatón al ser atropellado, las fases y tipologías que existen en los atropellos... También se incluyen en este apartado las medidas de seguridad actuales que existen para prevenir los atropellos o para disminuir la agresividad de la colisión entre coche y peatón y así poder disminuir la gravedad de las lesiones.
- ❖ Realizar un repaso del estado del arte de los ensayos de atropello, indicando la normativa existente actual, los distintos métodos de ensayo empleados, así como los diferentes elementos utilizados en los mismos.
- ❖ Realizar un estudio sobre la influencia de la defensa en los todoterrenos en cuanto a las lesiones provocadas en un atropello frontal en un peatón. Para ello, se utilizará un software muy potente, LS-DYNA, con el que se realizarán dos simulaciones con el mismo vehículo, una con defensa y otra sin defensa, y así poder comparar las magnitudes más relevantes que afectan a las lesiones producidas en las piernas del peatón.
- ❖ Además de estas dos simulaciones en las que el peatón ha sido modelado con forma antropomórfica, se realizarán otras dos sustituyendo el peatón por el impactador de pierna utilizado en las pruebas EuroNCAP. Posteriormente, se compararán las cuatro simulaciones para identificar las diferencias existentes entre simulaciones con peatones virtuales o impactadores.

1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto está estructurado en diversos capítulos y varios anexos, que son descritos a continuación:

En el Capítulo 1 se realiza una introducción al trabajo realizado, además de indicar los objetivos que se pretenden alcanzar.

En el Capítulo 2 se recoge información general sobre los atropellos, como pueden ser: las estadísticas más recientes, las causas que pueden provocar un atropello, las diferentes fases y tipologías que aparecen durante un atropello, las lesiones más comunes observadas en este tipo de accidentes de tráfico y, por último, se indican algunas de las medidas que pueden adoptarse para la prevención de los atropellos y la mejora de la seguridad de los peatones.

El Capítulo 3 se centra en los ensayos de atropellos. Se conocerán los distintos tipos de pruebas que se llevan a cabo, en función de la finalidad del ensayo o los elementos empleados. También se detallan las normas que rigen estas pruebas, así como los dispositivos utilizados, según estén basados en subsistemas o en sistemas completos, de tamaño real. A continuación, se hace un pequeño repaso sobre los diferentes programas de simulación existentes y que se utilizan en los ensayos de atropello.

El Capítulo 4 está dedicado a la parte experimental de este Proyecto, el cual consiste en la simulación de atropellos mediante sistemas de tamaño real e impactadores cuando el atropello es realizado con un vehículo todo terreno con o sin defensa delantera. Se explican los pasos seguidos y los parámetros elegidos para la preparación de cada una de las 4 simulaciones a realizar.

En el Capítulo 5 se obtendrán los resultados de cada una de las simulaciones y se analizarán obteniendo unas primeras conclusiones. Este capítulo está dividido en tres bloques: en el primer bloque se analizarán y compararán los valores de la primera y segunda simulación, las cuales corresponde a la simulación de un atropello mediante sistemas de tamaño real; en el segundo bloque se analizarán y compararán los resultados obtenidos de la tercera y cuarta simulación, las cuales corresponden a la simulación de un atropello mediante impactadores y en el tercer bloque se compararán los resultados de los dos anteriores.

En el Capítulo 6 se expresan las conclusiones finales que se han alcanzado tras el análisis de todos los datos. Además, se comentan posibles trabajos futuros que no se han podido llevar a cabo por falta de tiempo y/o medios, pero que se consideran importantes para avanzar en la investigación de los accidentes de tráfico y más específicamente en los atropellos.

En el Capítulo 7 se muestra la bibliografía consultada durante la realización de este Proyecto.

En último lugar se incluye un Anexo donde aparecen las tablas de los datos estadísticos y las secuencias de cada una de las simulaciones de donde se han obtenido los resultados que se han analizado.

2 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LOS ATROPELLOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad cuando se trata el tema de Seguridad vial, y en concreto de los accidentes de tráfico, en la mayoría de los casos se piensa únicamente en aquellos en los que sólo se ven involucrados vehículos. Esto es debido a que se tratan de los accidentes más numerosos y cuyas consecuencias son más dramáticas. En todos los medios de comunicación se han hecho eco a lo largo de estos años de los datos ofrecidos por las estadísticas, alertando a la sociedad de la mala situación existente, concienciando a los habitantes de que es necesario tomar medidas y respetarlas con la finalidad de reducir la cantidad de víctimas. Durante los últimos años, en el caso de España se han reducido estas cifras de manera significativa pero hay que seguir trabajando en ello para lograr datos más positivos.

Existe otro tipo de accidentes, aquellos en los que un vehículo colisiona con un peatón, los atropellos. Este tipo de accidentes, no son tan numerosos pero las estadísticas reflejan un porcentaje muy elevado. En el caso de España, los atropellos representan el 15% de todos los accidentes de tráfico que se producen. Una cifra demasiado elevada y que necesita tomar medidas urgentemente con la intención de disminuir estos accidentes y de la agresividad a la que se enfrentan los peatones. Ahora que la cifra de víctimas en accidentes de vehículo se ha reducido se han centrado todos los esfuerzos en reducir los atropellos. Es por ello, que frecuentemente en los medios de comunicación se trata este tema con la intención de concienciar a la sociedad en este aspecto. Se tratan de accidentes de tráfico más dramáticos puesto que el peatón no cuenta con ninguna coraza que le proteja frente al impacto con el vehículo.

Durante este capítulo 2 se van a tratar diferentes aspectos de los atropellos con la intención de conocer más de ellos y poder ofrecer nuevas propuestas en un futuro para reducir este tipo de accidentes de tráfico. Los temas que se van a desarrollar son los tipos, las causas y las consecuencias de los atropellos, destacando las principales estadísticas sobre estos accidentes. Además, se indican algunas de las medidas adoptadas para minimizar el número de atropellos y la gravedad de las lesiones en los peatones involucrados.

2.2 ESTADÍSTICAS DE ATROPELLOS.

Durante este capítulo se analizarán los datos reflejados en diferentes estadísticas relacionadas con los atropellos con el objetivo de tener una visión de la situación en el mundo, en Europa y en España.

2.2.1 SITUACIÓN EN EL MUNDO.

Para conocer datos sobre las cifras oficiales relativas a los atropellos que definen la situación que existe actualmente y anteriormente en el mundo se hará uso de la base de datos creada por IRTAD (International Road Traffic And Accident Database), gestionada por IRTAD Group. Se trata de un organismo vinculado a la OECD (Organization For Economic Co-Operation And Development), cuyo objetivo principal es proporcionar una base de datos agregados sobre los accidentes y víctimas de accidentes de tráfico de los países miembros con la cual poder trabajar con el objetivo global de reducir el número de víctimas de accidentes de tráfico. [62]

En 1998 el Programa de Investigación de Transporte por Carretera de la OECD crea la IRTAD. En 2004 el ECMT (European Conference of Ministers of Transport) y la OECD unen su capacidad en investigación y se crea el Joint Transport Research Centre, cuya actividad se centra en la investigación cooperativa sobre los distintos modos de transporte terrestre para apoyar a los distintos países miembros en sus políticas de transporte. En 2006, el Consejo de Ministros acordó transformar el ECMT, en el International Transport Forum (similar al Joint Research Centre, JTRC), incluyendo de esta forma a un mayor número de países miembros.

Desde enero de 2004 el JTRC es el responsable de la gestión del IRTAD, más concretamente el grupo de trabajo asociado a este organismo, el International Traffic Safety Data And Analysis Group.

Los objetivos de IRTAD pueden resumirse en los siguientes seis puntos:

- ❖ Cooperación científica e intercambio de información y conocimientos técnicos entre la red internacional de investigadores de seguridad y estadísticos.
- ❖ Recogida, armonización y difusión de información oportuna y global de accidentes, así como la exposición de los datos.
- ❖ Enfoque científico para avanzar en el conocimiento de los accidentes basado en métodos estadísticos de análisis de accidentes de circulación.
- ❖ La mejora de los datos utilizados para la investigación y de las políticas de planificación.
- ❖ Estimular el debate internacional sobre la armonización de las definiciones. El uso de los datos y conclusiones para identificar las características especiales donde la investigación avanzada fue liderar las mejoras en seguridad vial.

A pesar de que en esta base de datos no se recogen estadísticas de todo el mundo, los veintiocho países representados pueden ser una buena referencia para poder extrapolar las cifras a escala global. Cada uno de los países miembros de IRTAD Group está representado por una o varias entidades, públicas o privadas, relacionadas con la

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

seguridad vial. A continuación se incluye la lista de los países miembros, así como las entidades involucradas en IRTAD.

Tabla 2.1 - Países y entidades integrantes de IRTAD (International Road Traffic and Accident Database)

PAÍS	ENTIDADES
Alemania	Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt) Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (ADAC) Bosch •Daimler •DEKRA Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. (DVR) Unfallforschung der Versicherer GDV Volkswagen
Australia	Australian Transport Safety Bureau University of Queensland (CONROD)
Austria	Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV)
Bélgica	Belgian Road Safety Institute (IBSR) Nissan Motor Manufacturing (UK) Ltd. Belgium Branch
Canadá	Transport Canada
Dinamarca	Road Directorate Danish Transport Research Institute (DTU Transport) Aalborg University
Eslovenia	Directorate for Roads (DRSC)
España	Dirección General de Tráfico (DGT) RACC Automovil Club University of Valencia
Estados Unidos	National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) University of Michigan
Finlandia	Finnish Road Administration (FinnRA)
Francia	Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA) Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) Renault Observatoire national interministériel de sécurité routière
Gran Bretaña	Department for Transport Ford
Hungría	Institute for Transport Sciences (KTI)
Irlanda	Road Safety Authority (RSA)
Islandia	Public Road Administration
Israel	National Road Safety Authority Or Yarak Association
Japón	National Police Agency Institute for Traffic Research and Data Analysis (ITARDA) National Research Institute for Police Science (NRIPS)
Jordania	Jordan Traffic Institute
Corea	Road Traffic Authority (ROTA) Korea Transportation Safety Authority (TS)
Malasia	Malaysian Institute of Road Safety Research (MIROS)
Noruega	Norwegian Public Road Administration
Nueva Zelanda	Ministry of Transport
Países Bajos	Ministerie van Verkeer en Waterstaat Institute for Road Safety Research (SWOV)
Polonia	Motor Transport Institute (ITS)
República Checa	Transport Research Centre (CDV)
Serbia	University of Belgrade
Suecia	National Road Administration Swedish Road & Transport Research Institute (VTI)
Suiza	Swiss Council for Accident Prevention (BfU)
Organizaciones Internacionales	European Commission (DG TREN) European Automobile Manufacturers Association (ACEA) FIA Foundation The Motorcycle Industry in Europe (ACEM) World Bank

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

De la base de datos se exponen las cifras más significativas según el tipo de víctimas, ya sean peatones, ciclistas, ocupantes de motocicletas, turismos o furgonetas. Además, se muestran los datos de diferentes años, para poder ver la evolución a lo largo del tiempo y poder observar la tendencia predominante.

Para comenzar, se puede observar en la siguiente figura como han ido variando el número de accidentes de tráfico durante los últimos treinta años donde la densidad de vehículos en las ciudades ha aumentado vertiginosamente y las normas y sistemas de seguridad han evolucionado para adaptarse a la situación actual y de un futuro próximo. El patrón que siguen todos los países es que la siniestralidad ha ido disminuyendo al paso del tiempo, aunque hay países que han tenido altibajos.

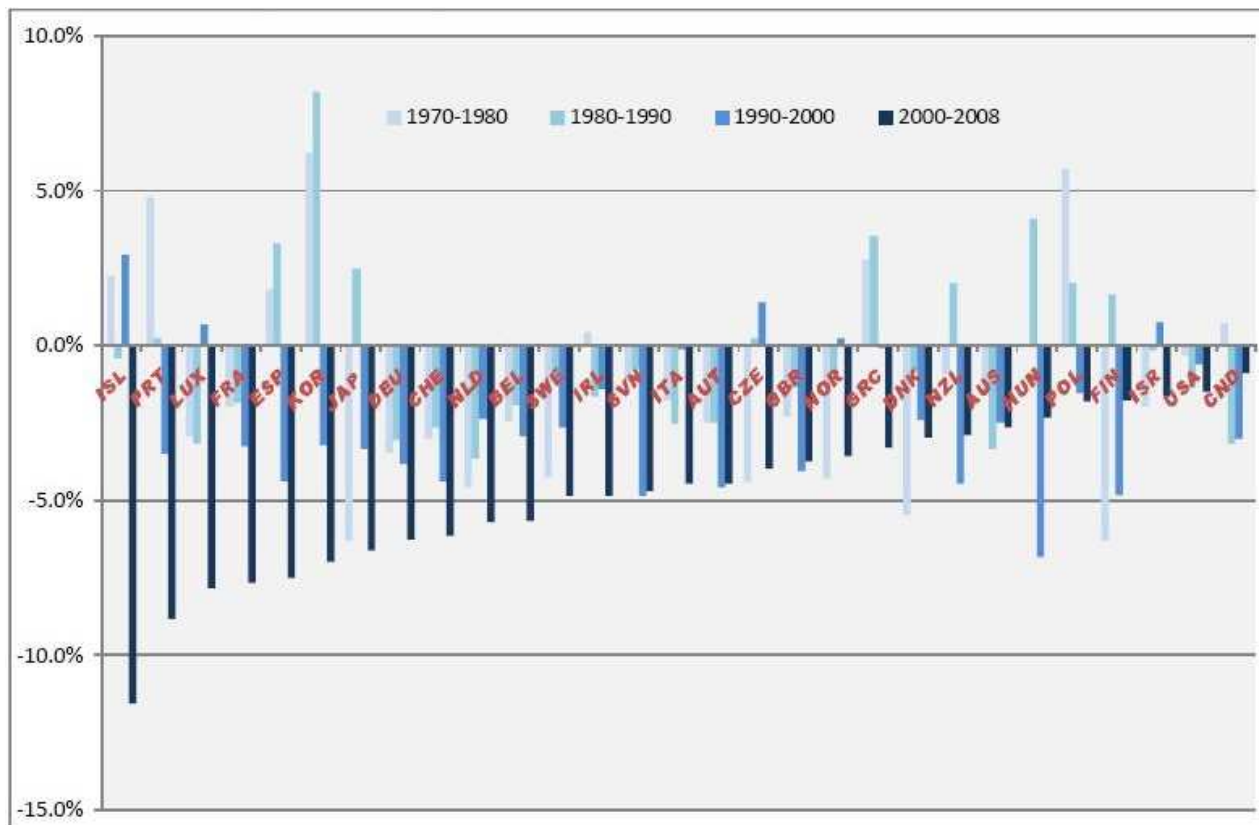


Gráfico 2.1 - Variación de la media anual de accidentes de tráfico [62]

IRTAD, en referencia a los atropellos, tiene actualmente publicado el número de víctimas mortales en los países miembros distribuidos en tres años: 1980, 2005 y 2006. Cada país sigue un criterio distinto para computar las víctimas mortales, así por ejemplo en el caso de España, se considera víctimas mortales aquellas que fallecen en los 30 días siguientes al accidente (hasta 1993 el plazo de tiempo para el cómputo eran 24 horas). En cualquier caso, con los siguientes datos se pretende dar una visión global del número de atropellos en el mundo, sin profundizar en exceso en las causas, entorno o tipo de víctimas del atropello.

A continuación se muestra la tabla de los atropellos mortales obtenida de IRTAD. [62]

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 2.2 - Distribución de los peatones fallecidos en los últimos años en los países miembros de IRTAD.

PAÍS	1980	2005	2006	$\Delta\%$ 1980-2006	$\Delta\%$ 2005-2006
ALEMANIA	3720	686	711	-80,89	3,64
AUSTRALIA	644	225	227	-64,75	0,89
AUSTRIA	459	97	110	-76,03	13,40
BÉLGICA	507	108	122	-75,94	12,96
CANADÁ	817	345	-	-	-
DINAMARCA	138	44	60	-56,52	36,36
ESLOVENIA	-	37	36	-	-2,70
ESPAÑA	1513	680	613	-59,48	-9,85
ESTADOS UNIDOS	8070	4881	4784	-40,72	-1,99
FINLANDIA	139	45	49	-64,75	8,89
FRANCIA	2378	635	535	-77,50	-15,75
GRAN BRETAÑA	1941	671	675	-65,22	0,60
GRECIA	451	234	267	-40,80	14,10
PAÍSES BAJOS	295	83	66	-77,63	-20,48
HUNGRÍA	642	289	296	-53,89	2,42
IRLANDA	208	74	-	-	-
ISLANDIA	9	1	4	-55,56	300,00
ISRAEL	-	134	139	-	3,73
ITALIA	1957	-	-	-	-
JAPÓN	3597	2442	2363	-34,31	-3,24
KOREA	4225	2548	2442	-42,20	-4,16
LUXEMBURGO	31	2	-	-	-
NORUEGA	71	31	35	-50,70	12,90
NUEVA ZELANDA	98	31	44	-55,10	41,94
POLONIA	2832	1756	1802	-36,37	2,62
PORTUGAL	-	214	156	-	-27,10
REP. CHECA	534	298	202	-62,17	-31,221
SUECIA	133	50	55	-58,65	10,00
SUIZA	254	69	76	-70,08	10,14

En consonancia con la disminución de accidentes de tráfico, como ya se ha visto anteriormente, también ha descendido el número de atropellos, aunque no de la misma manera en todos los países miembros de IRTAD Group. Analizando la estadística pueden sacarse las siguientes conclusiones:

- ❖ En primer lugar, se aprecia una clara disminución, alrededor de un 60%, en todos los países en el intervalo de tiempo 1980-2005, esto es debido a la sensibilización de la sociedad respecto a estos temas. Desde 1980 se han ido tomando infinidad de medidas, normas, leyes... con el objetivo de aumentar la seguridad de los pasajeros de los vehículos y de los más desprotegidos, los peatones. Junto con ello, se han incorporado multitud de avances tecnológicos en los vehículos para avisar y ayudar al conductor a evitar un accidente.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

- ❖ En segundo lugar, deteniéndose a analizar la columna que hace referencia a la variación de atropellos entre el 2005-2006, no es posible destacar una tendencia tan clara como en el anterior intervalo de tiempo puesto que existen tanto grandes descensos como elevados aumentos en el número de muertes. Estas cifras relativas entre dos años consecutivos son importantes para las políticas de cada país, ya que a partir de ellas pueden extraer conclusiones sobre las medidas a mejorar o conservar. Por el contrario, no es posible obtener una conclusión clara cuando se analizan en conjunto los datos de todos los países. Este comportamiento de los datos lleva a pensar que cuando se trata de analizar este tipo de estadísticas, intentando encontrar alguna tendencia clara es necesario emplear para ello un periodo de tiempo de varios años, para minimizar la influencia de los datos atípicos que pueden producirse en un año en concreto debido a diferentes factores. [18]

En la siguiente estadística, elaborada en abril del 2009 por IRTAD, quedan recogidos el número total de accidentes de tráfico ocurridos en los países miembros de dicho organismo y la cantidad exacta de atropellos producidos.

Tabla 2.3 - Porcentaje de atropellos producidos en los países integrantes de IRTAD [62]

PAÍS	TOTAL ACCIDENTES	ATROPELLOS	PORCENTAJE DE ATROPELLOS
ALEMANIA	4949	695	14,0
AUSTRALIA	1617	202	12,5
AUSTRIA	691	108	15,6
BÉLGICA	1067	103	9,7
CANADÁ	2892	382	13,2
DINAMARCA	406	68	16,7
ESLOVENIA	293	32	10,9
ESPAÑA	3823	591	15,5
ESTADOS UNIDOS	42642	4784	11,2
FINLANDIA	380	48	12,6
FRANCIA	4620	561	12,1
GRAN BRETAÑA	2946	646	21,9
GRECIA	1657	267	16,1
PAÍSES BAJOS	709	12	12,1
HUNGRÍA	1232	288	23,4
IRLANDA	338	81	24,0
ISLANDIA	15	1	6,7
ITALIA	5669	-	-
JAPÓN	6639	2209	33,3
KOREA	6166	2304	37,4
LUXEMBURGO	50	12	24,0
NORUEGA	233	23	9,9
NUEVA ZELANDA	422	45	10,7
POLONIA	5583	1951	34,9
PORTUGAL	969	156	16,1
REP. CHECA	1222	235	19,2
SUECIA	471	58	12,3
SUIZA	384	79	20,6

Como se puede observar, el atropello en la mayoría de los países supera el 15% del cómputo total de accidentes de tráfico. Cifra muy elevada, por lo que se debe trabajar mucho para reducirla.

2.2.2 SITUACIÓN EN EUROPA

Para tener una visión sobre la situación en Europa en cuanto a atropellos se refiere, se hará uso de un estudio publicado por RACC. Dicho estudio, fechado en enero de 2008 se ha realizado gracias a la financiación de la fundación FIA y ha sido dirigido por los principales clubes europeos de automóviles, dentro del marco de EuroTest y bajo el liderazgo del Club Suizo de Automóvil. En este estudio se trata no sólo el riesgo de los pasos de peatones sino que se analizan los reglamentos y directrices existentes en Europa sobre los pasos de peatones, así como sus diseños y equipamientos. [104]

A continuación se incluyen los diez clubes de automóvil indicando el país que representan:

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| ❖ ÖAMTC (Austria) | ❖ ACI (Italia) |
| ❖ TCB (Bélgica) | ❖ ANWB (Países Bajos) |
| ❖ AL (Finlandia) | ❖ NAF (Noruega) |
| ❖ ADAC (Alemania) | ❖ RACC (España) |
| ❖ AA (Gran Bretaña) | ❖ TCS (Suiza) |

Aunque el estudio incluye únicamente los datos de diez países, se ha utilizado por ser un estudio de reciente publicación y porque se realiza una interesante diferenciación de los accidentes ocurridos dentro y fuera de los pasos de peatones.

Los datos recogidos en el estudio pueden recopilarse en los gráficos que se presentan a continuación.

En un primer bloque se agrupan tres gráficos estadísticos. En el primer gráfico, se indica el número total de peatones fallecidos por cada millón de habitantes durante el año 2005 [62] [69]. Además, se ha añadido debajo del gráfico una tabla donde quedan expuestos el número total de fallecidos por atropello en cada uno de los países para valorar de mejor forma los datos registrados en el gráfico.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

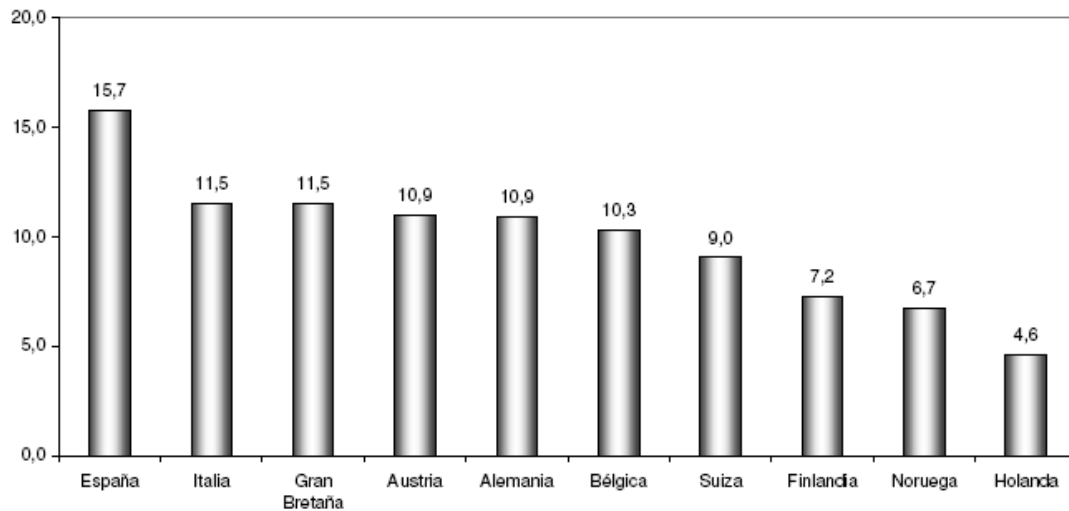


Gráfico 2.2 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones /millón de habitantes

Tabla 2.4 - Número total de fallecidos en atropellos (año 2005)

PAÍS	Nº FALLECIDOS	PAIS	Nº FALLECIDOS
ESPAÑA	691	BÉLGICA	108
ITALIA	666	SUIZA	67
GRAN BRETAÑA	677	FINLANDIA	38
AUSTRIA	90	NORUEGA	31
ALEMANIA	899	PAÍSES BAJOS	75

Los siguientes dos gráficos están relacionados con el anterior. En el primero, se indica el número de peatones muertos por atropello al cruzar un paso de cebra por cada millón de habitantes, mientras que en el segundo se muestra el número de peatones fallecidos fuera de los pasos de peatones por cada millón de habitantes.

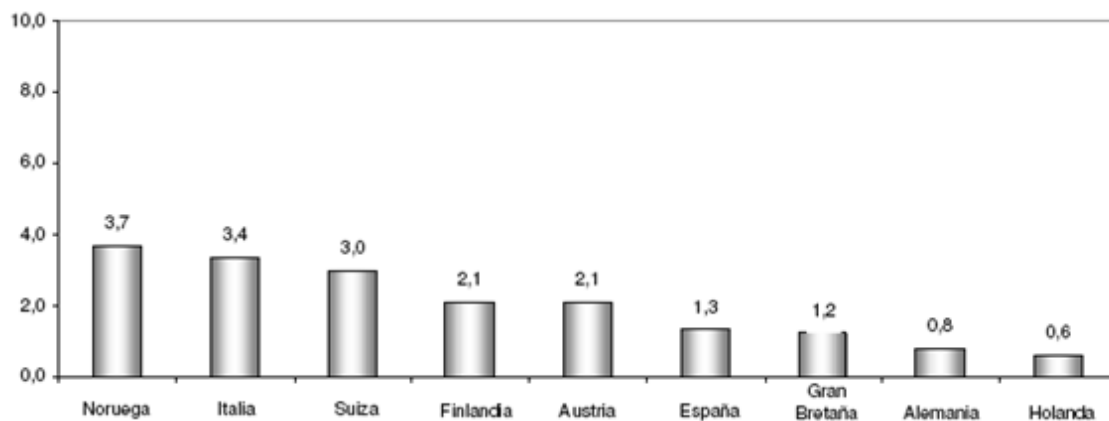


Gráfico 2.3 - Muertes en carretera 2005. Peatones muertos en pasos de peatones/millón de habitantes

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

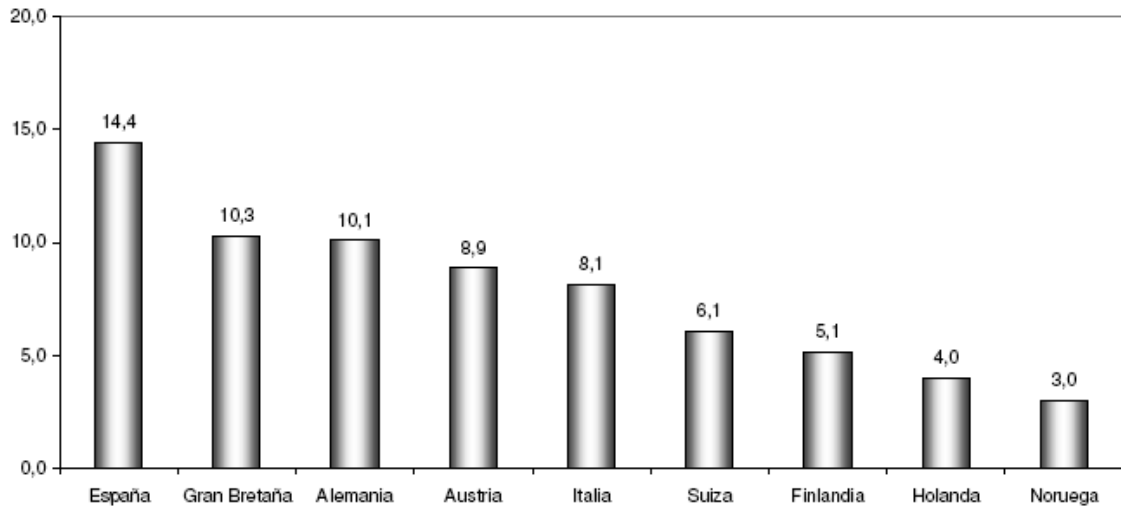


Gráfico 2.4 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/millón de habitantes.

Observando estas últimas cifras, queda claro que especialmente Alemania, España y Gran Bretaña tienen motivos de preocupación por la cifra de muertes ocurridas en accidentes fuera de los pasos de peatones, ya que alrededor de un 90% de las muertes de peatones ocurrieron fuera de los pasos de peatones. Al mismo tiempo, Noruega muestra el porcentaje más bajo, con 45,2%, seguida de Suiza (67,2%) e Italia (70,7%).

En un segundo bloque se muestran aquellas gráficas que están relacionadas con el número de muertes en carretera. En la primera estadística se indican las cifras relativas entre el número de muertes de peatones por muertes totales en carretera.

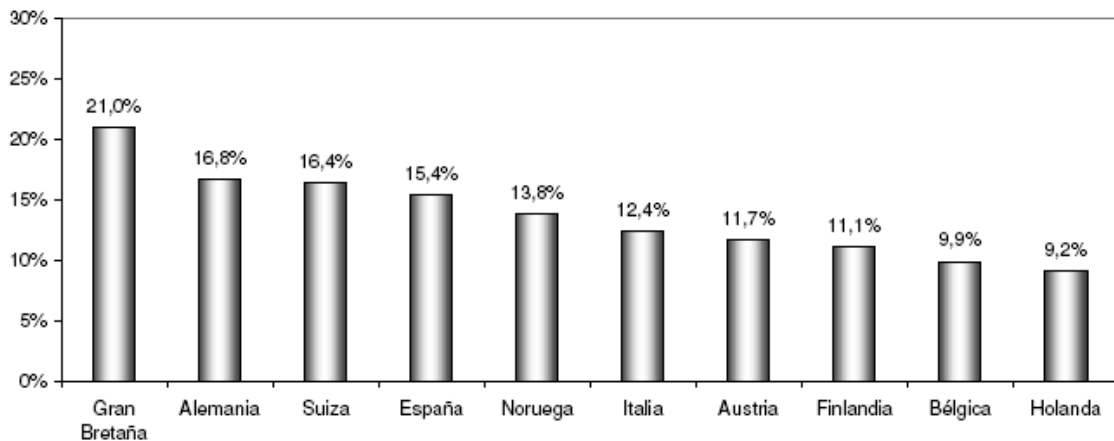


Gráfico 2.5 - Muertes en carreteras en 2005. Muertes de peatones/muertes en carretera en total.

Las cifras que se muestran no son positivas, pues son porcentajes demasiado elevados. España ocupa la cuarta posición, con un porcentaje superior del 15%. Esta cifra se traduce en dos fallecidos por atropello al día según un estudio realizado por el Instituto MAPFRE de Seguridad Vial. En primer lugar se encuentra Gran Bretaña alcanzando un valor del 21 %.

En los siguientes dos gráficos se muestran las cifras relativas al número de víctimas atropelladas en los pasos de cebra y fuera por cada muerto en carretera.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

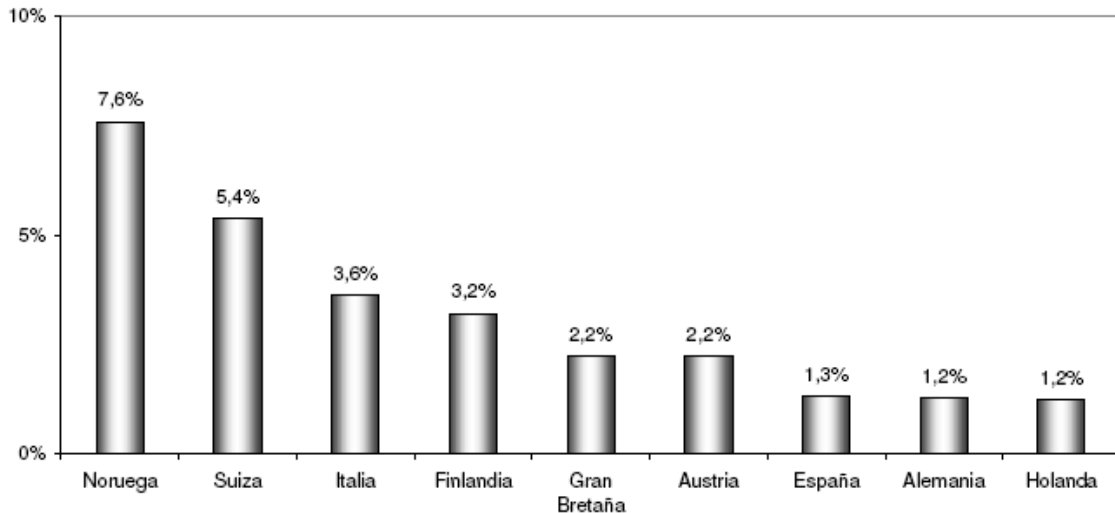


Gráfico 2.6 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones en pasos de peatones/muertes en carretera en total.

Analizando los datos se observa que los porcentajes no son tan elevados pero lo suficientemente relevantes como para no obviarlos. La mayoría de estos accidentes son causados por la irresponsabilidad del conductor, los cuales no respetan las señalizaciones o no prestan la atención debida.

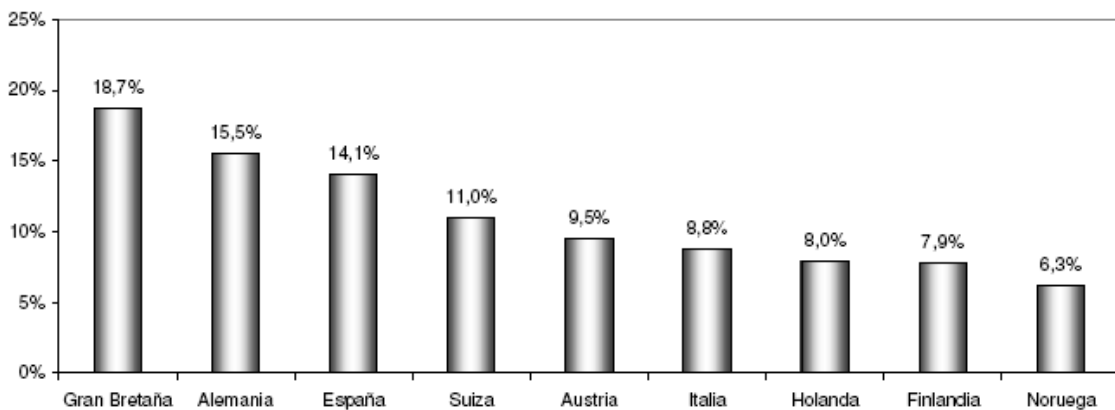


Gráfico 2.7 - Muertes en carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/muertes en carretera en total.

Al contrario que en el caso anterior, aquí los porcentajes se han elevado considerablemente alcanzado cifras escalofriantes. España se sitúa en tercer lugar con un 14.1%. La mayoría de estos accidentes donde el peatón es atropellado pueden ser causados por multitud de causas ya sea por distracción del conductor, por imprudencia de los peatones al no circular de manera correcta por la carretera o por falta de pasos de cebra que permitan a los peatones cruzar de manera segura de un arcén al otro.

Por si los datos recogidos en las anteriores estadísticas no han sido lo suficientemente alarmantes, se adjunta una última gráfica donde se ofrece el número de peatones fallecidos fuera de los pasos peatonales entre el número total de muertes de peatones por atropellamiento.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

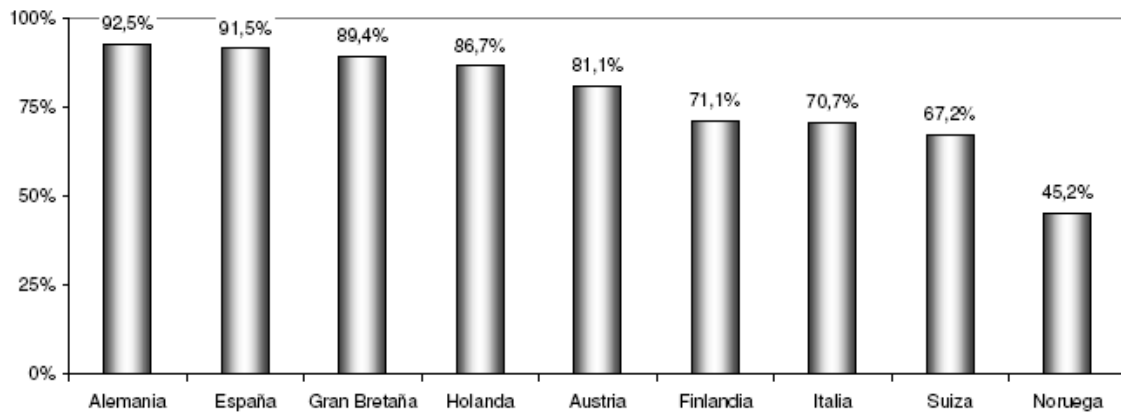


Gráfico 2.8 - Muertes de carretera en 2005. Muertes de peatones fuera de pasos de peatones/muertes de peatones en total

En éste gráfico, España se sitúa en segunda posición, con un 91.5%, no muy lejos de Alemania, la cual ocupa el primer lugar. Es necesario que la sociedad de hoy en día, sin diferenciar país ya que todos han obtenido altísimos porcentajes de muertes fuera de pasos señalizados, tome conciencia de estas cifras para adquirir buenos hábitos. Si se consiguiese que los ciudadanos utilizasen siempre los pasos de peatones en vez de cruzar por lugares no indicados, se reduciría, paralela y drásticamente, el número de fallecidos por atropello.

Recopilando y analizando todas las estadísticas en conjunto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ❖ De los diez países estudiados, España destaca por tener la cifra mayor de muertes debidas a atropellos por cada millón de habitantes, siendo la diferencia de 4,2 respecto al segundo país, Italia.
- ❖ Las cifras de muertes provocadas por atropello, refleja que los países con mayor número de fallecidos tienen una media de casi dos muertes diarias como es el caso de España, o 2,5 en Alemania.
- ❖ España también destaca por ser el país donde muere un mayor número de personas fuera de los pasos de peatones. De las 691 muertes, 633 murieron fuera de los pasos señalizados para peatones. Aunque como puede verse esta tendencia es común a todos los países analizados. En Alemania el 93% de los peatones mueren fuera de los pasos de peatones, frente al 92% en España, mientras que en Gran Bretaña estas cifras se sitúan en el 90%. Únicamente Noruega posee una cifra menor al 50%, siendo del 45%.
- ❖ El porcentaje de víctimas mortales como consecuencia de atropellos respecto al número total de muertos en accidentes de tráfico es considerablemente alto, siendo de alrededor del 15% en toda Europa [3proylibro]. En el caso de los diez países analizados se sitúan en el 13,77%. Entre estos países destaca Gran Bretaña donde prácticamente una de cada cinco muertes en accidente de tráfico corresponde a un peatón atropellado.
- ❖ Sobre pasos de peatones, Noruega, Suiza e Italia se encuentran en la peor parte de esta comparación internacional de muertes de peatones en relación con el número de habitantes y muertes en carretera en general.

- ❖ Fuera de los pasos de peatones, España, Gran Bretaña y Alemania presentan sistemáticamente los peores índices y porcentajes de muertes de peatones en relación con el número de habitantes y muertes en carretera en general. En España, las muertes ocurren con mayor frecuencia fuera de áreas edificadas. La relación en comparación con áreas edificadas es de 6/5, mientras que este índice en Alemania es de alrededor de 1/2.
- ❖ Merecedora de una mención especial: Holanda, casi siempre ha obtenido el mejor resultado.

2.2.3 SITUACIÓN EN ESPAÑA

En este último apartado del capítulo se estudiará la situación en la que se encuentra España respecto a los atropellos. Gracias a diversas estadísticas se pueden conocer las circunstancias en las que se producen los accidentes, distinguiendo por ejemplo, los atropellos en función de la gravedad de las heridas, de la zona donde se produce, la edad de los peatones, etc. La mayoría de los datos han sido recogidos en los diferentes informes publicados por la Dirección General de Tráfico (DGT), entidad involucrada en IRTAD. [26]

Según los datos mostrados en el último “Informe Anual de Siniestralidad 2007”, publicado en enero de 2008, durante este año murieron en las carreteras españolas un total de 242 peatones, 43 menos que en el 2006 y 156 menos que en 2003. Esta cifra supone un 9,45% del total de fallecidos en carretera [59]. Estas cifras pueden verse en el siguiente cuadro resumen:

Tabla 2.5 - Víctimas mortales durante los años 2003, 2006 y 2007

VÍCTIMAS MORTALES	2003	2006	2007	DIF. 07-06	DIF. 07-03	Δ% 07/06	Δ% 07/06
Atropello a peatón	398	285	242	-43	-156	-15,10	-39,20

Aunque son cifras significativas, únicamente están incluidas las víctimas de atropello producidas en carretera. A pesar de que en carretera se produce el 82% de los muertos [70] (en el año 2006), es en ciudad donde se producen los accidentes con víctimas no mortales. En concreto, durante el 2006 supusieron el 51% de los accidentes. Por tanto es preciso tener en cuenta el número de atropellos producidos en zona urbana, no sólo porque hay un mayor número de accidentes sino porque el atropello puede considerarse un accidente típicamente urbano.

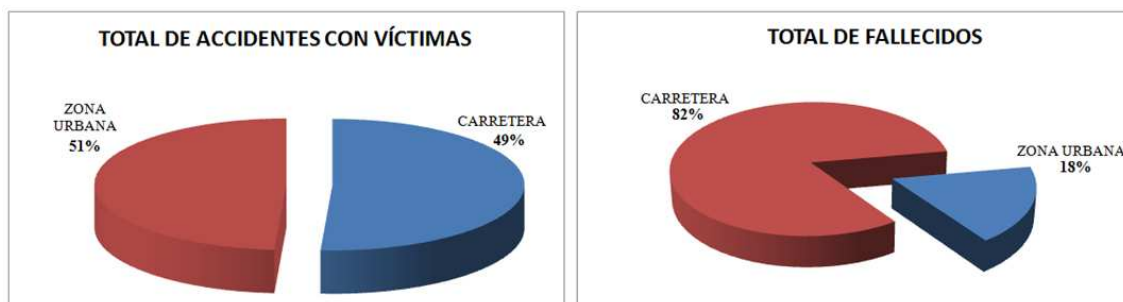


Gráfico 2.9 - Estadística sobre víctimas y fallecidos en carretera o en zona urbana

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Considerando los datos desglosados del año 2006 se pueden conocer los peatones fallecidos por atropello tanto en carretera como en zona urbana.

Tabla 2.6 - Distribución de los fallecidos en carretera en España, en función del tipo de accidente.

Fallecidos en carretera	2003	2004	2005	2006	Distribución %2006	Δ% 06/05	Δ% 06/03
Salida de la vía	1707	1466	1386	1191	35	-14	-30
Colisión frontal	843	693	688	618	18	-10	-27
Colisión lateral y frontal-lateral	907	826	745	560	17	-25	-38
Colisión trasera múltiple.	364	303	284	332	10	17	-9
Atropello peatón	407	319	334	284	8	-15	-30
Vuelco	71	70	46	57	2	24	-20
Otro tipo	181	164	169	325	10	92	80
Total	4480	3841	3652	2267	100	-8	-25

Es posible destacar que los atropellos producidos en carretera provocan el 8% de los muertos totales, muy por encima, por ejemplo, de los muertos asociados a vuelcos. También puede verse como esta cifra ha disminuido un 15% respecto al año precedente, 2005.

Tabla 2.7 - Distribución de los fallecidos en zona urbana en España, en función del tipo de accidente.

Fallecidos en zona urbana	2003	2004	2005	2006	Distribución %2006	Δ% 06/05	Δ% 06/03
Salida de la vía	146	158	123	108	18	-12	-26
Colisión frontal	52	51	45	40	5	-11	-23
Colisión lateral y frontal-lateral	225	228	183	163	22	-11	-28
Colisión trasera múltiple.	40	37	42	38	5	-10	-5
Atropello peatón	360	333	326	281	38	-14	-22
Vuelco	11	20	20	19	2	-5	73
Otro tipo	85	73	51	88	12	73	4
Total	919	900	790	737	100	-7	-20

En el caso de los atropellos en zona urbana, al tratarse de un accidente típicamente urbano, destacan por encima del resto con el 38% de los muertos, con un total de 281 fallecidos.

Según los informes o estudios consultados se aprecian ligeras diferencias en algunas cifras, debidas posiblemente a criterios de cálculos diferentes, actualización de datos u otras causas desconocidas.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Otra estadística a destacar es la evolución que ha sufrido el número total de peatones involucrados en accidentes, contabilizando tanto los heridos, leves o graves, como fallecidos. En el siguiente gráfico se realiza la distinción de las víctimas producidas en carretera o zona urbana [117].

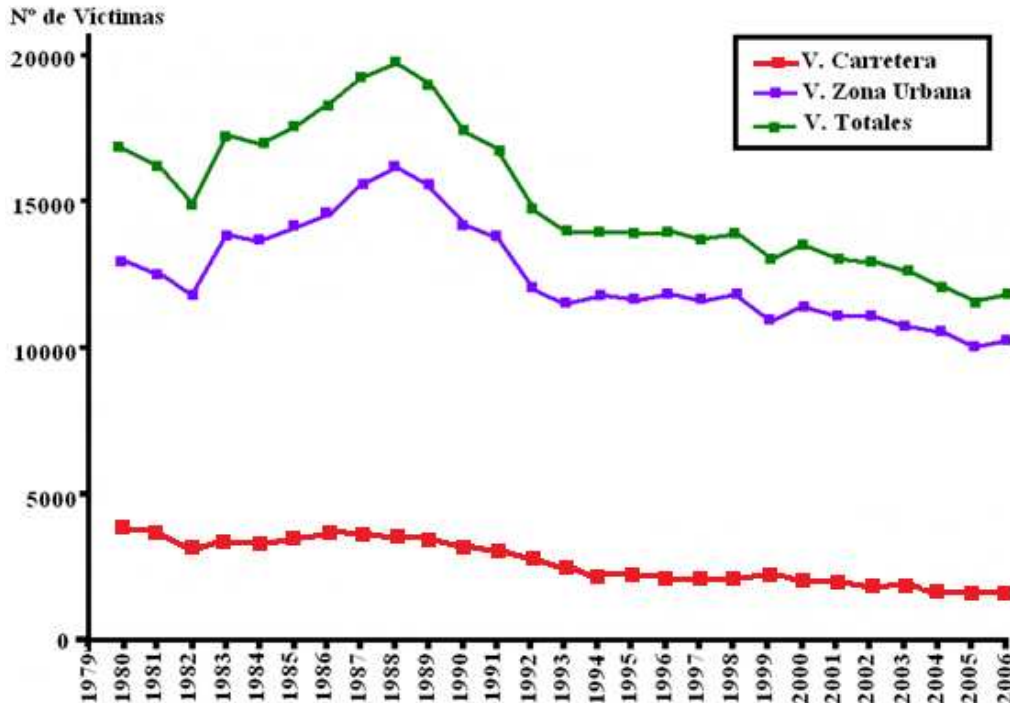


Gráfico 2.10 - Evolución de las víctimas de atropello en España durante los últimos años.

A la vista de la gráfica se puede destacar varios puntos. En primer lugar y como era de esperar, la cifra de víctimas totales en zona urbana es muy superior a las víctimas producidas en carretera. Y en segundo lugar, se aprecia una clara tendencia desde hace dos décadas a que las cifras de víctimas por atropello vayan disminuyendo progresivamente.

Otro parámetro destacable es el tipo de accidente en el que un peatón se ve involucrado, adjuntado en el anexo I - apartado A. Se pueden distinguir hasta seis categorías de atropellos en función de la actividad que realiza el peatón y de sus circunstancias según la estadística del 2007. De nuevo, también es posible distinguir entre los accidentes producidos en carretera o zona urbana [114].

Otras estadísticas que se pueden encontrar se refieren a edades y sexo de las víctimas accidentadas como se puede apreciar en el anexo I - apartado A. Existen datos desde 1980 hasta 2008 de las víctimas de atropellos diferenciando las producidas en carretera y en zona urbana. Tras haber comparado los resultados relativos de varios años, 1995, 2000, 2004, y 2006, se observa que aunque existen pequeñas variaciones, [18] los valores se mantienen con diferencias de pocos puntos porcentuales de un año a otro. Por este motivo se exponen los datos del último año del que se conocen, 2007. A la vista de los datos, tanto en carretera como en zona urbana las edades de los peatones que más atropellos sufren están comprendidas entre los 25-34 años. En cuanto al sexo se puede apreciar que los hombres en general a cualquier edad son los más atropellados en

carretera mientras que las mujeres, sin importar la edad son las más accidentadas dentro de los núcleos urbanos.

Existen otras clasificaciones y estadísticas referentes a los atropellos producidos en España, como pueden ser por día de la semana, mes, comunidad autónoma o provincia en el que se producen, y que pueden ser consultados en algunos de los siguientes documentos [59] [70] [114] [117].

De todos los datos anteriores pueden extraerse algunas conclusiones:

- ❖ Al igual que ocurre con el resto de los accidentes de tráfico, las víctimas de atropellos se están reduciendo año tras año. Las causas de esta reducción son numerosas aunque tienen una gran influencia las medidas tomadas por las distintas administraciones, entidades, organismos o fabricantes de vehículos. Sin olvidar la actitud, cada día más responsable, de la mayoría de los ciudadanos.
- ❖ Durante el año 2007 el número de fallecidos por atropello en carretera y en ciudad, prácticamente coinciden. La principal explicación es que a pesar de que en ciudad haya un mayor número de víctimas atropelladas, la mayor velocidad a la cual se produce el atropello en carretera hace que gran parte de los atropellos terminen con la vida del peatón. Por el contrario, en ciudad la menor velocidad de los vehículos, así como la mayor separación con los peatones, y las medidas de seguridad en los vehículos, hacen que muchos peatones atropellados únicamente resulten heridos.
- ❖ De los 4104 fallecidos en España en el año 2006, tanto en carretera como en ciudad, 565 fueron víctimas de atropellos, lo que supone un 13.7% [18]. En cambio, en el año 2007, los fallecidos por accidentes de tráfico disminuyeron hasta una cifra de 3823, mientras que las víctimas por atropello aumentaron hasta 591, lo que supone un 15,5%. Ambos valores son muy elevados y es necesario tomar medidas urgentemente para disminuirlo.
- ❖ Por edades, las personas más afectadas son las comprendidas entre los 25 y 64 años, tanto en carretera como en ciudad. Aunque este dato tiene cierta lógica considerando que la mayoría de la población española está incluida en este tramo de edad. Podría destacarse también que el colectivo de más de 65 años y de niños, hasta 14 años, se ven implicados en un gran número de atropellos.
- ❖ Todos los datos confirman que cada año el número de víctimas producidas en atropellos de peatones, tiende a disminuir, a pesar de que tanto el número de habitantes como el de vehículos aumentan significativamente.

2.3 CAUSAS DE LOS ATROPELLOS

Al hablar de accidentes de tráfico se suele pensar inmediatamente en aquellos en los que se ven perjudicados uno o varios vehículos pero es fácil olvidarse de los atropellos, donde una de las partes, la persona, es infinitamente más vulnerable que la otra ya que la carrocería con la que se presenta frente al impacto es su propio cuerpo.

En un accidente de circulación siempre hay tres elementos que están presentes y que juegan un papel muy importante en el desarrollo del suceso. Como es de esperar, se trata de la vía, el vehículo y las personas. Normalmente en un accidente de tráfico el principal causante del mismo es uno de los elementos pero no siempre es así porque pueden llegar a crearse combinaciones de los tres factores, lo que provoca, como ya se ha comentado en tantas ocasiones, que cada accidente sea único.

A continuación se indica, para cada uno de los tres elementos participantes en el tráfico, la forma en la que pueden ser la causa, o no, de un atropello.

La vía y su condición, muchas veces relacionada con las condiciones meteorológicas, puede ser un factor determinante en la mayoría de los accidentes, aunque más por la posibilidad de evitarlos, que por ser un elemento causante. Como se puede observar en las estadísticas del 2007 ofrecidas por la DGT [22], adjuntadas en el anexo I - apartado B, las condiciones meteorológicas no son determinantes en las causas de los accidentes, pues, tanto en carretera como en zonas urbanas, el número de accidentes con víctimas es inmensamente superior cuando hace buen tiempo que en el resto de casos donde las condiciones ambientales no son tan favorables.

Tabla 2.8 - Resumen de estadísticas sobre condiciones meteorológicas-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).

En carretera			
	Accidentes	Víctimas	Muertes
Buen tiempo	42.615	68.046	2.009
Mal tiempo	7.205	11.824	406

En zona urbana			
	Accidentes	Víctimas	Muertes
Buen tiempo	44.070	58.046	490
Mal tiempo	6.618	8.428	52

Extrayendo los siguientes datos de la misma estadística se puede afirmar que tampoco es una causa determinante la luminosidad que exista en la calzada y el entorno. Del mismo modo que antes, vuelve a haber muchísimos más accidentes cuando existe una buena iluminación que cuando no la hay.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 2.9 - Resumen de estadísticas sobre luminosidad-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).

En carretera			
	Accidentes	Víctimas	Muertes
Buena iluminación	33.555	53.203	1.412
Mala iluminación	16.265	26.667	1.003

En zona urbana			
	Accidentes	Víctimas	Muertes
Buena iluminación	34.635	44.263	304
Mala iluminación	16.053	22.211	238

En cuanto a aquellos accidentes donde intervienen peatones, las vías cuentan con una separación física en forma de calzada y arcén o aceras, dependiendo si se trata de una carretera o una zona urbana respectivamente. Estas separaciones tienen como propósito separar la circulación de los viandantes de los vehículos a motor y prevenir posibles colisiones entre ambos. Frecuentemente, los peatones necesitan atravesar las calzadas para poder llegar a su lugar de destino, es por ello que existen los denominados pasos de peatones, cuya función principal es señalar el paso más adecuado para atravesar la vía de un lado a otro.

Los pasos de peatones se pueden clasificar en cuatro tipos: [44] [111]

- ❖ Cebra, que conceden prioridad permanente a los peatones que lo utilizan.
- ❖ Semaforizados, que establecen la prioridad de peatones o vehículos según las fases de su ciclo.
- ❖ A distinto nivel, que realizan a desnivel, deprimido o elevado, el cruce de la calzada. Hay dos tipos básicos: elevados o pasarelas y subterráneos.
- ❖ Integrados.

A pesar de que su función es la de facilitar el cruce de la vía a los peatones, una mala distribución espacial, colocados en zonas alejadas del tránsito de las personas o sin la señalización adecuada puede hacer que su utilidad se vea muy mermada o no cumplan su cometido. Con todo esto, deben considerarse los pasos de peatones, como elementos que evitan los accidentes, y únicamente en casos excepcionales pueden contribuir junto con otros factores a que se produzca un atropello.

El segundo elemento considerado es el vehículo por formar parte de la circulación y posible factor en desencadenar accidentes, atropellos. En los tiempos que corren donde la seguridad es la máxima prioridad, todos los vehículos que circulan por las vías disponen de tres tipos de medidas de seguridad, más o menos sofisticadas. Se trata de la seguridad activa (primaria), pasiva (secundaria) y una tercera (terciaria). [115]

La seguridad activa (primaria) son todas aquellas medidas que asisten al conductor para evitar un posible accidente interviniendo de manera permanente durante la circulación. Como por ejemplo:

- ❖ Sistema retrovisor: visibilidad del conductor de la circulación que sucede detrás, espejos, eliminación de puntos ciegos, y otras ayudas de control como radares, comunicación de seguridad inalámbrica del vehículo y visión nocturna.
- ❖ Sistema de suspensión.
- ❖ Sistema frenado: Antilock Brake System (ABS) con reparto electrónico de frenada (EBV).
- ❖ Control de estabilidad (ESP), con EDL.
- ❖ Control de tracción.
- ❖ Sistema de dirección.
- ❖ Sistema de iluminación.

La seguridad pasiva es la encargada de minimizar las consecuencias negativas de un accidente durante el transcurso de este. Ejemplo de ello son:

- ❖ Reposacabezas.
- ❖ Airbags: interiores y exteriores.
- ❖ Cinturón de seguridad.
- ❖ Zonas de deformación dispuestas para absorber la energía de la colisión.
- ❖ Construcción del chasis pensada para proteger a los pasajeros.
- ❖ Refuerzo de las partes estructurales laterales.
- ❖ Sistema Procon-ten.
- ❖ Sistema Pop-up.
- ❖ Diseño del frontal del vehículo.
- ❖ Sistema de seguridad en ciudad (city safety).
- ❖ Control de alerta al conductor (DAC).
- ❖ Advertencia de colisión (CWAB).
- ❖ Tecnología antiatropello.

La seguridad terciaria es la encargada de minimizar las consecuencias negativas de un accidente después de que éste haya sucedido. Dentro de estas medidas se incluyen las siguientes:

- ❖ Cierre automático de la inyección de combustible para impedir incendios.
- ❖ Depósito de combustible y elementos auxiliares diseñados para evitar el derrame de combustible.
- ❖ Aviso automático a centro de emergencias después de un accidente.
- ❖ Hebillas del cinturón de seguridad de fácil apertura.

Como se puede observar son muchas las medidas de seguridad que se están introduciendo en los vehículos para prevenir o minimizar las lesiones de las personas. Es por ello, que los vehículos no pueden ser tomados como causa de los accidentes sino como elementos que evitan o minimizan las lesiones. El vehículo es un elemento al que se le puede considerar causante únicamente cuando éste se produce por el fallo o avería de uno de los sistemas de seguridad. Pero según las estadísticas del 2007 ofrecidas por la DGT [22], adjuntadas en el anexo I - apartado C, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

- ❖ Haciendo una estadística sobre las diferentes categorías de los vehículos y si presentan o no algún tipo de defectos se obtiene de manera resumida los siguientes datos.

Tabla 2.10 - Resumen de estadísticas sobre defectos en vehículos-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).

En carretera				
	Total	Vehículos 2-3 ruedas	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Sin defectos	83.091	10.703	65.251	5.537
Con defectos	3.092	693	1.956	199

En zona urbana				
	Total	Vehículos 2-3 ruedas	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Sin defectos	69.067	22.546	44.522	1.532
Con defectos	22.033	5.626	15.565	506

Cabe destacar que del total de vehículos involucrados en un accidente en carretera (86.183), el 3.58% presentaban fallos. Una cifra muy baja por la que no se puede afirmar que el vehículo sea el principal causante de accidentes. De igual modo ocurre en zonas urbanas, donde la cifra de accidentes se eleva hasta los 91.100. Solamente el 24,2%, más elevada que en carretera, son debidos a fallos en los vehículos pero no siendo un porcentaje lo suficientemente alto como para poder afirmar que los vehículos sean causa de accidentes. En ambas vías, carretera y zona urbana, los vehículos ligeros son los que más accidentes recogen, en especial los vehículos ligeros; seguidos por los vehículos de 2-3 ruedas, ciclomotores y motos.

- ❖ Haciendo una estadística sobre la antigüedad de los vehículos y si presentan o no algún fallo se obtienen de manera resumida los siguientes datos.

Tabla 2.11 - Resumen de estadísticas sobre antigüedad de los vehículos-accidentes en carretera (arriba) y zona urbana (abajo).

En carretera		
Antigüedad	Sin defectos	Con defectos
1	7.545	276
2	6.433	261
3	5.617	201
4	4.715	171
5	4.280	163
6 y 7	9.017	417
8 a 10	10.318	386
11 a 15	8.302	348
Más de 15	4.664	237
Sin especificar	17.739	443
Total	83.091	3.092

En zona urbana		
Antigüedad	Sin defectos	Con defectos
1	4.978	2.747
2	3.945	2.038
3	3.251	1.652
4	2.539	1.335
5	2.267	1.233
6 y 7	5.121	2.555
8 a 10	4.865	2.363
11 a 15	3.628	1.637
Más de 15	1.839	773
Sin especificar	33.652	4.150
Total	69.067	22.033

Si ahora se analiza la relación entre la antigüedad del vehículo y los accidentes, tanto en carretera como en zonas urbanas, las conclusiones son las siguientes:

- Se registran un gran número de accidentes los primeros años desde la matriculación del vehículo. Esto puede ser debido a la inexperiencia y falta de control a la hora de conducir el vehículo.
- Entre el tercer y quinto año los accidentes registrados disminuyen, debido a que el conductor se ha familiarizado con el vehículo.
- A partir del sexto año vuelven a aumentar notablemente los accidentes. Esto puede ser debido a que el vehículo, aunque no presente defectos, no se comporta como los primeros años y el conductor no es consciente de ello. El conductor está demasiado confiado con la máquina que lleva.

Por todas estas razones, se debe considerar al vehículo, en la gran mayoría de los casos, un factor determinante para evitar un accidente.

Una vez tratados la vía y el vehículo, parece obvio que el principal responsable o causante de los atropellos es el ser humano. Las personas, o si se prefiere, el factor humano es determinante en la mayor parte de los accidentes de tráfico, siendo también el elemento causante de que se produzca. Se pueden distinguir dos tipos de individuos según sea su actividad, el conductor de un vehículo y el peatón.

No es aventurado afirmar que la gran mayoría de los accidentes de circulación son resultado directo de las infracciones realizadas por las personas, ya sean como conductores o peatones. En las estadísticas del 2007 ofrecidas por la DGT [22], adjuntadas en el anexo I - apartado D, quedan registradas las infracciones realizadas tanto por los peatones como por los conductores que desembocaron en accidentes de tráfico. En el caso de los atropellos existe otra estadística donde quedan patentes las acciones que estaba llevando a cabo el peatón antes de la colisión.

Es posible destacar cuatro factores concurrentes en la mayoría de los accidentes de tráfico y que están directamente relacionados con el hombre como causa principal de los accidentes de tráfico.

- ❖ Velocidad.
- ❖ Alcohol.
- ❖ Distracciones.
- ❖ Infracciones.

El exceso de velocidad o la velocidad inadecuada, según datos del año 2006 [70], estuvo presente en el 15% de los accidentes con víctimas, aumentando hasta el 21% en los accidentes producidos en carretera. Si se consideran los accidentes con víctimas mortales durante ese año, el porcentaje de accidentes en los que la velocidad fue el factor determinante fue del 27%. En un estudio más reciente del RACE [60] sobre la velocidad en las zonas urbanas se indica que el 56% de los vehículos controlados superaban la velocidad permitida en ciudad de 50km/h. Según las velocidades medias obtenidas, todas las clases de vehículos superaban la velocidad máxima establecida, lo que repercute en un mayor riesgo de producir un atropello y que éste tenga graves consecuencias para el peatón. Como indican los estudios, y ésta es la razón por la que la velocidad en ciudad está limitada a 50km/h, existe una correlación entre la velocidad del atropello y la probabilidad de sufrir heridas graves. Entorno a 50km/h la probabilidad de sufrir una lesión grave se sitúa alrededor del 50%, aumentando hasta el 95% si la velocidad es de 60km/h. [9]

Un estudio realizado por “Ecologistas en Acción” pone de manifiesto que “La probabilidad de que un peatón muera se multiplica por ocho cuando la velocidad del vehículo pasa de 30 a 50 km/h. Los peatones tienen un 90% de posibilidades de sobrevivir a impactos a 30 km/h o menos, pero menos del 50% de probabilidades de sobrevivir a un choque a 45 km/h o más”. [37]

Otro estudio parecido, llevado a cabo por la “Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, FITSA” obtiene la misma conclusión. Una reducción de la velocidad de circulación conllevaría igualmente una disminución significativa de la gravedad de las lesiones: un impacto contra la cabeza de una persona a 50km/h provoca fracturas de cráneo en el 50% de las ocasiones, mientras que a una velocidad de 40km/h se produce dicha lesión en el 15%, y a una velocidad de 30km/h únicamente el 3% de los impactos”. [48]

El alcohol sigue apareciendo en cada estadística como factor concurrente o determinante en un tercio de los siniestros de circulación, con un total de 700 víctimas mortales en 2008. [51]. Desde hace unos años se está llevando a cabo una campaña de alcoholemia muy fuerte. Se están realizando muchos controles, por lo que el número de positivos ha disminuido [70]. Los españoles son cada vez más conscientes del peligro que supone al volante y de la repercusión que conlleva legal y económicamente ser detectado en un control de alcoholemia por lo que en los últimos años la tasa de positivos en estos controles ha pasado del 3,97% a menos del 2% [51].

A pesar de que existen datos sobre los controles realizados a las personas implicadas en accidentes de tráfico, sólo se destacan aquellos casos en los que se sobrepasaba los límites legales, pero no hay datos relevantes sobre los resultados en los que se comprobaba cierta ingesta de alcohol, aunque no se alcanzasen los límites establecidos. Esto es un aspecto importante, ya que es sabido que cualquier consumo de

alcohol afecta a las personas, en mayor o menor medida, y puede aumentar la probabilidad de sufrir o causar un accidente.

El 31% de los automovilistas fallecidos en 2008 dieron positivo por consumo de alcohol, aumentando hasta un 40% se tienen en cuenta aquellas personas que dieron positivo por consumo de drogas y/o psicofármacos, según la Memoria del Instituto Nacional de Toxicología. [51]

Las distracciones, tanto de conductores como de peatones, son otro de los factores concurrentes en una gran parte de los accidentes. Aunque existen un sinnúmero de posibles distracciones mientras se conduce o se camina, como puede ser conversar, admirar el paisaje, los anuncios publicitarios, manipular la radio o reproductores de audio, etc., uno de los más habituales es la utilización del móvil. De hecho esta conducta está penalizada cuando se está al mando de cualquier vehículo. Durante 2006 se produjeron 91385 denuncias a conductores por utilizar el teléfono móvil mientras conducían. [70]. Aunque esta cifra es significativa, únicamente incluye el pequeño porcentaje de los infractores que han sido detectados por los agentes de tráfico en las carreteras. A esta cifra hay que sumar el número indeterminado de conductores que usan su teléfono en ciudad, que puede llegar a ser muy superior al de las infracciones en carretera. Las distracciones en ciudad pueden ser causa de accidentes, y por tanto, el número de atropellos debido a esto puede ser elevado. Los peatones también son en muchas ocasiones causantes de accidentes debido a sus propias distracciones del conductor. De nuevo, el uso del teléfono móvil puede ser destacado. Los datos sobre las distracciones son concluyentes. En 2006, en el 36% de los accidentes la distracción fue la causa principal, siendo este porcentaje del 42% en los casos en carretera y del 31% en zona urbana.

Pero sin duda el factor que mayor importancia tiene como causa de los accidentes son las infracciones de las normas de circulación. De hecho, puede considerarse dentro de este factor a los otros tres, velocidad, alcohol y distracciones. Si se respetasen las normas establecidas, una gran mayoría de los accidentes podrían evitarse. A pesar de esto, en las estadísticas se realiza una separación con el resto de factores y se habla de las infracciones como uno más. De nuevo según datos del 2006, la mayoría de accidentes fueron consecuencia directa de las distracciones [70]. Se estima que el 67% de los accidentes producidos fueron causados por infracciones, destacando en carretera el 58% y el 75% en zona urbana. Este último dato puede explicar en parte el mayor número de accidentes, sobre el total, que se produce en zonas urbanas respecto a los producidos en carretera.

Aunque, tanto los conductores como los peatones cometen infracciones, estos últimos son el grupo más destacable, ya que los atropellos provocados por no respetar las normas, suelen tener peores consecuencias, provocando heridas de gravedad o la muerte.

Es posible indicar las infracciones que cometieron los peatones víctimas de atropellos [22] (estadísticas adjuntadas en el anexo I - apartado D) en España durante el año 2005 [114]. De los datos es posible destacar varias ideas. Por un lado, se puede observar como en general, la infracción más común causante del atropello, es que el peatón cruza o irrumpe en la calzada de forma no reglamentaria, seguido de la no utilización de los pasos de peatones para cruzar la vía. La otra idea a destacar es que de los 12121 atropellos con víctimas contabilizados, en el 47,6% de los casos el peatón no



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

cometió ninguna infracción, lo que lleva a pensar casi con toda seguridad que en esos casos la infracción la cometió el otro grupo humano, es decir, el conductor (estadísticas adjuntadas en el anexo I - apartado D) [22].

A partir de todos estos datos es posible extraer una conclusión importante. Los atropellos de peatones podrían evitarse, salvo en mínimas ocasiones, si el conductor y el peatón respetasen las normas.

2.4 FASES DE UN ATROPELLO

En este subcapítulo se tratan las diferentes fases espacio-temporales en las cuales puede dividirse un accidente de tráfico, particularizando para el caso de un atropello de peatón. Antes de comenzar, es necesario tener en cuenta algunas definiciones relevantes:

Según apunta la RAE [107]:

Accidente:

No existe una clara definición de accidente, y más concretamente, de accidente de tráfico. Sin embargo, existen algunas que habitualmente se utilizan.

- ❖ “Suceso eventual o acción que involuntariamente resulta daño para las personas o cosas”.
- ❖ “Suceso que altera el orden regular de las cosas”.

Atropello:

- ❖ “Alcanzar violentamente a personas o animales, chocando con ellos y ocasionándoles, por lo general, daños”.

Ha habido estudiosos que han creado nuevas definiciones para este tipo concreto de accidentes de tráfico. [80]

- ❖ “Aquel suceso eventual, producido como ocasión del tráfico, en el que interviene alguna unidad de circulación y como resultado del cual se produce muerte o lesiones en las personas o daños en las cosas”.
- ❖ “Transferencia no controlada de energía que produce como consecuencia lesiones o muertes en las personas”

Según la Orden Ministerial de 1993 que establece el concepto de accidente [96], un *accidente de circulación* se define como:

- ❖ “Son objeto de accidentes de circulación con víctimas los que reúnen las condiciones siguientes”:
 1. Producirse en vías o terrenos objeto de la legislación sobre tráfico, circulación de vehículos de motor y seguridad vial.
 2. Consecuencia del mismo resulte: una o varias personas muertas o heridas, o solo daños materiales.

Además, esta Orden Ministerial especifica el accidente denominado atropello:

- ❖ “Se denomina atropello a aquel accidente en el que se ven implicados una unidad de circulación y un peatón o animal”

De la que surge la necesidad de definir el término peatón:

- ❖ “Toda persona que, sin ser conductor, se encuentra transitando a pie por las vías o terrenos objeto de regulación de la Ley sobre Tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial”.

A estos efectos, desde el punto de vista de la seguridad vial, el concepto de peatón se entiende desde una perspectiva más amplia, considerando también peatones a quienes empujan o arrastran un coche de un niño, o de un impedido o cualquier otro vehículo de pequeñas dimensiones, los que conducen a pie un ciclo o ciclomotor de dos ruedas, y aquellas personas que circulan sobre patines u otros artefactos parecidos por las vías o terrenos descritos anteriormente. Son igualmente peatones aquellas personas que por ejemplo se encuentren reparando un motor, cambiando neumáticos o realizando otra operación similar junto al vehículo en cualquier vía.

Una vez se han definido algunos conceptos es posible comenzar a definir las fases de un accidentes de tráfico [80]. Los accidentes de circulación, pese a su rapidez, no se producen de una manera instantánea. Como cualquier fenómeno presenta una evolución que se desarrolla en unas coordenadas espacio-temporales y sufre, por lo tanto, una serie de sucesivas circunstancias que se van encontrando hasta producirse el resultado final.

TIEMPO: el tiempo del accidente se descompone en una serie de “momentos” en los cuales las personas intervinientes en el accidente han debido obrar en un determinado sentido, lo hayan hecho o no.

ESPACIO: el espacio consta de una serie de “áreas” o “zonas” y dentro de ellas, unos puntos en los que se sitúan situaciones concretas.

La unión de un “área” (espacio) y un “momento” (tiempo) genera las coordenadas espacio-tiempo que dará lugar a “una posición”. Las distintas posiciones del accidente se unen en “fases”. Tradicionalmente pueden distinguirse tres fases:

- ❖ Fase de percepción
- ❖ Fase de decisión
- ❖ Fase de conflicto

En el caso particular de un atropello, estas tres fases aparecen en la siguiente secuencia de eventos [11]:

- ❖ Preimpacto
- ❖ Impacto
- ❖ Postimpacto

2.4.1 PREIMPACTO

Este evento abarca aquel intervalo de tiempo en el que aparentemente no hay ninguna situación de peligro hasta el instante de tiempo anterior en el que se produce la colisión. Este margen temporal engloba las dos primeras fases nombradas anteriormente, la fase de percepción y la fase de decisión.

Para determinar cómo se produce el atropello a un peatón es necesario introducir una serie de conceptos espacio-temporales que permiten analizar las conductas, comportamientos o conocimientos que en cada momento tuvieron o pudieron tener el conductor y el peatón implicados.

- ❖ Es importante reconstruir temporalmente todas las acciones llevadas a cabo por cada una de las personas que intervienen en el escenario del accidente.
- ❖ También es necesario conocer de manera precisa todo lo referente al espacio, el entorno inmediato en el que se desarrolla. Hay ciertos puntos definidos en los que se realizan o deberían haberse realizado acciones concretas individualizadas.

Finalmente, la posición se define como el conjunto de un momento, es decir, el tiempo en el que la persona ha debido obrar de una manera determinada, lo haya hecho o no, y un punto, espacio físico donde situar las acciones concretas. La unión de varias posiciones dará lugar a una fase del atropello.

La secuencia general de eventos en un atropello de un peatón se inicia cuando el peatón se introduce en la calzada o cuando el vehículo a motor abandona la calzada e invade el área donde los peatones tienen prioridad.

El siguiente esquema refleja el mecanismo completo que forma parte del preimpacto. Como se puede ver, es el ojo, el sentido de la vista, el que alerta al conductor de un posible peligro, ya sea provocado por él mismo o por una persona ajena al vehículo. La interpretación de la escena está fuertemente vinculada con el nivel de atención que se está ejerciendo y el cual está influenciado por el estado emocional de la persona que va al volante. Una vez finalizada la fase de percepción comienza la fase de decisión. En esta fase, se activa el mecanismo de atención o la selección consciente, los cuales realizan un esquema de la situación, una predicción de lo que puede acontecer y finalmente se realiza una evaluación del riesgo. Tras ello, se debe tomar una serie de medidas para intentar evitar el accidente si es posible o al menos disminuir la agresividad del posible impacto. [12]

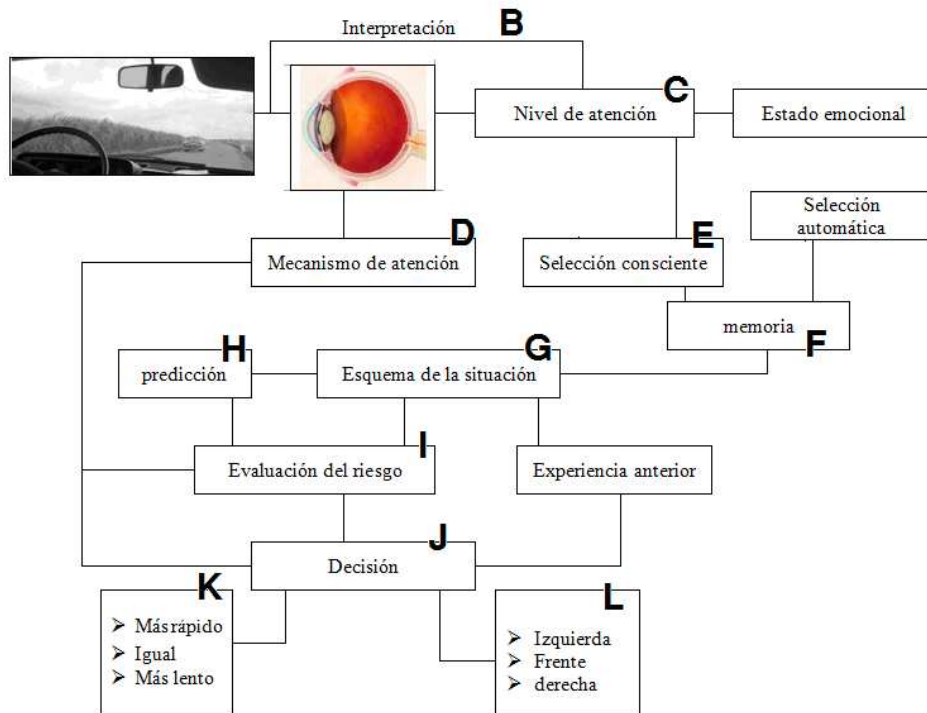


Figura 2.1 - Esquema del mecanismo completo del preimpacto

A continuación, se define una serie de posiciones características y de vital importancia en el estudio de un accidente de tráfico, particularmente de un atropello. [18] [7]

La Posición de Percepción Posible (PPP)

Es el momento y lugar donde el movimiento o condición inesperada o extraordinaria, que podía desembocar en un accidente, puede haber sido percibido por una persona normal. En el supuesto que nos ocupa es la posición donde el peatón se hace visible para el conductor, es decir, donde es posible que el conductor viera por primera vez al peatón.

Es durante la parte más temprana del intervalo de la percepción cuando el peatón se convierte potencialmente en visible por primera vez para un conductor atento y el vehículo a su vez resulta visible para un peatón atento. En la mayoría de los casos, el vehículo de motor será más fácilmente discernible para el peatón que a la inversa.

Seguido de este primer punto de percepción potencial, las partes implicadas pueden entrar en fase de identificación y observación. Si no hay detección de un objeto, no puede comenzar la percepción ni el proceso de respuesta. La respuesta (reacción) es un producto de la detección, identificación y de análisis.

La Posición de Percepción Real (PPR)

El punto de percepción real es aquel momento espacio-tiempo en el que el conductor implicado en los hechos se percata del incidente de tráfico, es decir, de la circunstancia anómala creadora de la situación de riesgo.

Los pasos, tal y como se desarrollan secuencialmente son:

- ❖ El peligro, en este caso el peatón, se convierte en visible para el conductor.
- ❖ El peligro es visto por el conductor.
- ❖ El peligro es identificado como tal por el conductor.
- ❖ Se le asigna un “nivel de amenaza” a este peligro inmediato relacionándolo con otros peligros de la calzada y/o su entorno inmediato.

Durante esta fase es importante definir y destacar un concepto que interviene de forma significativa en todo el proceso del atropello, el tiempo de reacción.

Tiempo de Reacción:

En Psicología, el tiempo de reacción es el intervalo que transcurre entre un estímulo sensorial y su correspondiente reacción voluntaria, que puede ser más o menos automática. Es el tiempo que se requiere, a partir de la percepción, para tomar el control del vehículo realizando operaciones tácticas o estratégicas, o en otras palabras, es el tiempo requerido para decidir lo que hacer y comenzar a hacerlo.

En relación con los puntos definidos con anterioridad, el tiempo de reacción sería el que transcurre entre el punto de percepción real, donde el conductor se da cuenta de la situación de peligro, y el punto de ejecución de la decisión, donde el conductor ya ha decidido y comienza a ejecutar la maniobra evasiva.

La utilidad del tiempo de reacción a efectos de conocer el mecanismo de producción de atropello es doble: por un lado, sirve para comparar la mejor reacción posible, teniendo en cuenta las circunstancias en las que se produjo el suceso, con las maniobras evasivas realmente llevadas a cabo, ayudando de esta forma a evaluar los conocimientos y habilidades del conductor o un peatón; y por otro lado, se utiliza para establecer la posible deceleración o distancia de parada de un vehículo a una velocidad determinada.

Desde un punto de vista “ex post” tan importante como la rapidez en la percepción del peligro y la inmediata realización de una acción evasiva será la correcta evaluación de las posibilidades que tiene el conductor y una precisa ejecución de dicha maniobra. El grado de conocimientos y pericia que tenga el conductor sobre la forma de actuar bajo estas circunstancias, también es un factor a tener en cuenta a la hora de valorar su acción.

El tiempo de reacción para un conductor normal oscila entre 1 y 2 segundos mientras que el tiempo de respuesta del vehículo oscila en torno a 0,25 segundos. De hecho, la jurisprudencia alemana, desde hace décadas tiene en cuenta el tiempo de reacción, bajo la denominación “tiempo de susto”. Por este motivo sus Tribunales estiman que, por regla general, el conductor puede tardar como máximo en reaccionar o frenar 0,8 segundos para que la tardanza se le pueda reprochar como imprudente. Por el contrario, la tardanza en reaccionar condicionada por la embriaguez no favorece al conductor.

Por lo tanto, queda reflejado que el tiempo de reacción es un parámetro en la investigación muy importante. En un accidente es necesario llevar a cabo un estudio de evitabilidad del suceso, con el cual poder juzgar una posible imprudencia por parte del conductor y reprocharle penalmente en caso de que se haya cometido.

La Posición de Ejecución de la Decisión (PED)

Se considera la posición en la que el conductor o peatón es consciente del incidente de tráfico y transcurrido el tiempo de reacción, emprende una decisión para hacer frente al peligro o situación anormal que ha percibido e inicia su ejecución, es decir, inicia la realización de una maniobra evasiva

Entre el punto de percepción real y el punto de ejecución de la decisión, el conductor identifica el peatón como tal y hace un juicio de previsibilidad de nivel de riesgo que le pueden suponer las acciones siguientes del peatón. La evaluación de este riesgo está íntimamente relacionada con la decisión sobre qué acción realizar en el supuesto que realmente el peligro llegue a confirmarse y la secuencia desemboque en una situación de emergencia.

La evaluación de este riesgo puede variar según va transcurriendo el tiempo, pues cada una de las partes ejecuta acciones evasivas sin conocer exactamente las que va a tomar el otro afectado. Aún así, en muchas ocasiones es posible predecir de una manera más o menos precisa los movimientos que va a realizar el otro.

Durante esta fase es importante tener en cuenta el retardo del sistema de freno en caso de ser accionado:

Retardo del Sistema de Frenado

Es el tiempo que transcurre desde que el conductor pisa el pedal del freno hasta que la rueda bloquea o alcanza su máxima eficacia, diversos ensayos reales indican que, para turismos con el sistema de frenado en buen estado, este tiempo está comprendido entre 0,25 y 0,6 segundos.

La Acción Evasiva

Es la maniobra o conjunto de ellas que emplea el conductor o peatón para evitar la producción del accidente. Los diferentes tipos de maniobras evasivas suelen ser complejas pero son combinación de las siguientes medidas básicas.

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| - Acelerar | - Girar a la derecha |
| - Decelerar | - Girar a la izquierda |
| - Continuar constante | - Seguir de frente |
| - Marcha atrás | |

La reacción del conductor a la situación no es el único factor de decisión; la elección por parte del peatón de su acción u omisión puede también influir el resultado final de la cadena de sucesos.

La Posición Clave (PCL) o Posición de No Escape

Es aquel momento y lugar en el cual el accidente resulta inevitable, es decir, el accidente se producirá ya independientemente de la voluntad del conductor. Es determinable en función de la posibilidad de realizar cálculos matemáticos a partir de los datos de campo disponibles. Su importancia es vital para el análisis jurídico de la conducta del conductor del vehículo, sobre todo en relación con el deber de cuidado subjetivo, que exige que la conducta anómala de peatón sea evitable siempre que no exista vulneración de la norma de cuidado por parte del conductor.

2.4.2 IMPACTO

Este evento abarca todo el espacio temporal que comienza desde el momento en el que se consuma el primer impacto propiamente dicho hasta el momento en el que el peatón queda inmóvil.

El Punto de Atropello (PC)

Momento y lugar en el cual el peatón es alcanzado por primera vez por el vehículo. Es una posición relevante en el estudio del accidente, con el cual se puede determinar muchas de las posiciones y tiempos definidos con anterioridad.

Por lo general el peatón, tras el primer contacto con el automóvil, sufre otra serie de colisiones:

Impactos con el vehículo:

Como norma general, en un atropello hay varios tipos de contactos entre el peatón y el vehículo y además suelen producirse siempre de la misma manera cronológica. El primer impacto suele ser entre la pierna de la persona y el parachoques del automóvil. Seguidamente se produce un impacto entre la parte superior del capó y el conjunto pelvis-muslo. Posteriormente, el cuerpo, a causa de los dos impactos anteriores, comienza a girar hacia delante cayendo sobre el capó y produciéndose una tercera colisión en la que intervienen principalmente la cabeza y los hombros, los cuales golpean la parte superior del capó y a veces golpeando también la luna delantera del vehículo. En la siguiente secuencia se puede observar cada uno de los impactos que sufre un peatón al ser alcanzado con un automóvil. [43]

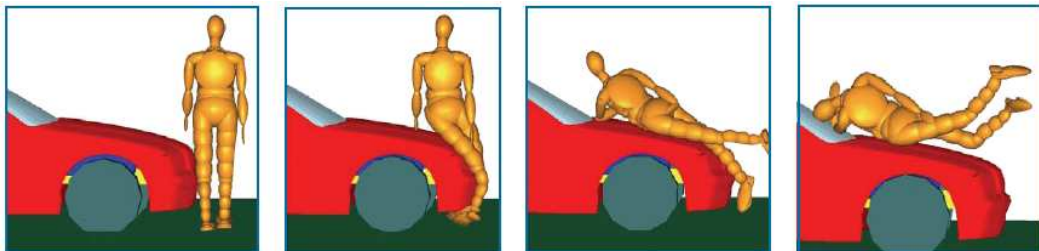


Figura 2.2 - Secuencia de impactos entre peatón y automóvil

Cada accidente es diferente y no siempre se lleva a cabo de la misma manera, dependiendo principalmente de la manera en la que se haya llevado a cabo el accidente así como de diferentes parámetros: velocidad, geometría del vehículo...

En colisiones con altas o moderadas velocidades de impacto, la distancia que media entre el suelo a la altura del frontal del vehículo y el punto del vehículo donde golpea la cabeza recibe el nombre de Distancia de Envolvimiento (WAD, Wrap Around Distance).

Posteriormente, en el siguiente subcapítulo, se expondrá las diferentes tipologías que se pueden presenciar en un atropello.

Impactos posteriores

Si el cuerpo es de alguna forma lanzado desde el capó al parabrisas, habrá alcanzado el mismo vector de velocidad que el vehículo que lo atropella. Si el cuerpo no es atrapado por la luna delantera, y el diseño convexo de la misma rechaza el cuerpo a un lado del vehículo y sale despedido, el cuerpo tendrá una dirección de salida diferente a la del vehículo en el momento de la separación, aunque tendrán probablemente la misma velocidad. Si el cuerpo es lanzado al parabrisas y por encima del techo, no tendrá probablemente la misma velocidad que la del vehículo.

2.4.3 POSTIMPACTO

Hay situaciones en las que el cuerpo del atropellado queda en lo alto del vehículo pero otras en las que es despedido pudiendo golpearse nuevamente con el mobiliario urbano y objetos que haya en el entorno.

Una vez que la persona cae al suelo experimenta una enorme deceleración. El cuerpo puede, entonces, volver a volar brevemente y de nuevo retornar al suelo y experimentar otra deceleración. Cada tipo de movimiento y el grado de deceleración experimentado por el cuerpo durante ese movimiento es función de la velocidad del cuerpo y el ángulo en el que golpea por primera vez el suelo, como también el coeficiente de rozamiento que caracterice la calzada.

El cuerpo humano en algunos casos, se detiene más rápido que el vehículo con el que se ha producido el atropello convirtiéndose nuevamente en víctima de un segundo atropello al quedarse enganchado con los bajos del coche y siendo arrastrado hasta la posición final en el que el automóvil se haya detenido. Pero también, el vehículo podría arrollar a la persona tendida en el suelo.

Posiciones finales (PF)

Posición que adopta tanto el vehículo como las personas y objetos que hayan intervenido en el siniestro cuando llegan a la inmovilidad del evento.

La mayor parte de este subcapítulo ha sido extraído casi en su totalidad del artículo “*La reconstrucción de accidentes. El atropello de peatones (1ª parte)*” (Campón Domínguez, J.A.) [11]

2.5 TIPOLOGÍAS DE UN ATROPELLO

En el anterior subcapítulo, se han descrito las diferentes fases que forman parte de un accidente de atropello y todos los acontecimientos que ocurren en él. Pero, comúnmente los cuerpos alcanzados no se comportan todas de igual manera, pues es muy difícil que dos atropellos sean exactamente iguales debido a la infinidad de factores que intervienen en un accidente (velocidad, dimensiones del vehículo, ángulos de impacto, entorno...).

A pesar de ellos, los expertos han coincidido en que todos los atropellos pueden ser clasificados dependiendo de la trayectoria y movimientos que experimenta el cuerpo de la víctima sobre el vehículo y el suelo al ser colisionado por un automóvil. Gracias a esta clasificación, el 80% de los atropellos, bajo las fortuitas circunstancias en las que se hayan producido, pueden ser relacionados con un tipo. De ese modo, se puede llevar a cabo una investigación del suceso más exacta y precisa, además, de mejorar los conocimientos (velocidad de impacto, lesiones causadas al peatón...) que se tienen sobre este tipo de accidentes para futuras investigaciones.

Estos movimientos, y por tanto también los atropellos, pueden ser clasificados según las siguientes cinco trayectorias: [114]

- ❖ Trayectoria de envolvimiento (Wrap Trajectory)
- ❖ Proyección hacia delante (Forward Projection)
- ❖ Volteo sobre la aleta (Fender Vault)
- ❖ Volteo sobre el techo (Roof Vault)
- ❖ Salto mortal (Somersault)

De un total de 300 casos de colisión frontal, clasificados dentro de alguna de las cinco trayectorias biodinámicas, se ha observado que la trayectoria biodinámica postimpacto del peatón está influenciada por alguna de las variables de la colisión, como sería: la geometría y configuración del vehículo y peatón, la velocidad de impacto del vehículo y la ausencia o presencia de maniobra de frenada del vehículo. En la siguiente figura se muestran los porcentajes de distribución de casos identificados en las diferentes trayectorias.

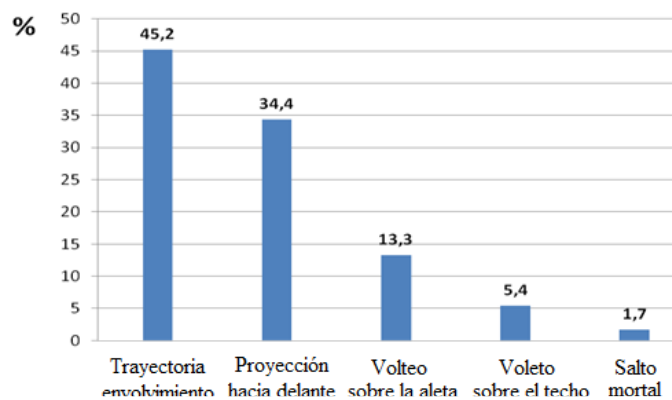


Gráfico 2.11 - Porcentaje de cada tipo de trayectoria postcolisión posible seguídas por los peatones en casos de atropello

En los siguientes cinco apartados se describen las cinco trayectorias según Haight y Eubanks [52].

2.5.1 TRAYECTORIA DE ENVOLVIMIENTO (WRAP TRAJECTORY)

La más común de las categorías, la trayectoria de envolvimiento, generalmente implica un vehículo decelerando. En este escenario, el peatón es proyectado por encima del frontal del vehículo, con su torso en contacto con el capó y siendo lanzado hacia el parabrisas o, menos frecuentemente, despedido del vehículo

La velocidad media de impacto para colisiones que tengan como patrón la trayectoria de envolvimiento es aproximadamente 30 km/h. El contacto entre la cara/cabeza del peatón con el parabrisas no es generalmente observado en velocidades por debajo de los 40 km/h. Los peatones no son generalmente sobrepasados en los accidentes de esta categoría.

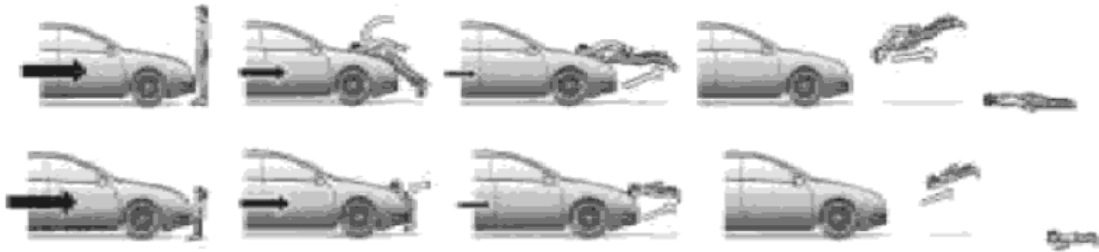


Figura 2.3 - Trayectoria de envolvimiento (Wrap Trajectory: adulto y niño [97])

2.5.2 PROYECCIÓN HACIA DELANTE (FORWARD PROJECTION)

La proyección hacia delante es la segunda categoría de trayectoria más común. Este tipo de trayectoria se produce cuando el centro de masas del peatón está por debajo del borde anterior del capó del vehículo al impactar por lo que ocurre normalmente con niños.

En una proyección hacia delante, el torso superior del peatón es acelerado rápidamente en la dirección a la que la fuerza de impacto es aplicada, proyectando el cuerpo delante del vehículo. El peatón es acelerado a la misma velocidad que tiene el vehículo que lo atropella y posteriormente, cuando el vehículo que lo golpea decelera, cae a la carretera y se mueve hasta la posición final. Las lesiones producidas por el contacto directo con el vehículo y aquellos que se derivan del contacto con la carretera no están, generalmente, en el mismo lado del cuerpo.

La proyección hacia delante se puede también observar cuando el cuerpo del peatón es cortado más que envuelto sobre el capó. El centro de masas del peatón está por encima del borde anterior del capó, pero la energía generada por el impacto es insuficiente para acelerar las piernas para que pierda el contacto con la calzada. Las velocidades de impacto detectadas, generalmente, se encuentran por debajo de los 15 km/h cuando ocurre esto.

Esta categoría de atropello usualmente implica que el vehículo no está frenando a fondo durante la secuencia del atropello o que la frenada no se produce hasta después

del impacto. La intrusión puede ocurrir en este tipo de accidentes incluso a baja velocidad.

La característica principal de este tipo de atropellos es que existe un único impacto del peatón con el vehículo, siendo típico:

- ❖ Cuando el vehículo que colisiona es un vehículo industrial o furgoneta disponiendo su carrocería de un frontal aproximadamente vertical.
- ❖ Cuando un vehículo, tipo turismo o todoterreno, colisiona contra un niño, dada la talla pequeña del peatón.
- ❖ Cuando el vehículo se encuentra en fase de aceleración en el instante del atropello. Debido a la transferencia de pesos en este proceso, se produce una elevación de la carrocería sobre el eje delantero con respecto al eje trasero.

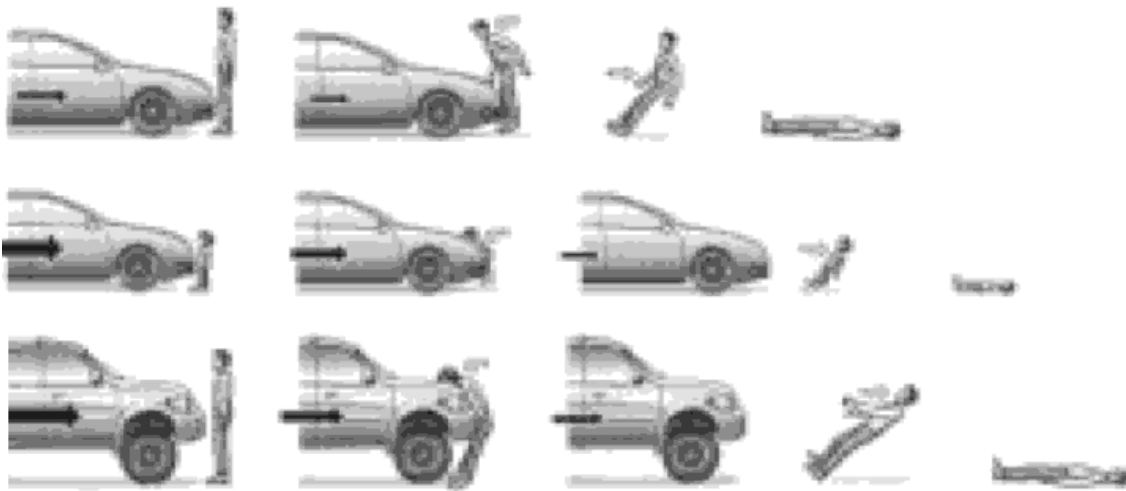


Figura 2.4 - Proyección hacia delante (Forward Projection) [97]

2.5.3 TRAYECTORIA DE VOLTEO SOBRE LA ALETA (FENDER VAULT)

La categoría de trayectoria de volteo sobre la aleta se da tanto para vehículos frenados como aquellos que no lo están. El peatón es, generalmente, alcanzado por el vehículo y volteado sobre la aleta. La velocidad perpendicular del peatón o el diseño del vehículo, normalmente influyen sobre el cuerpo del peatón para que salga por el lateral del vehículo.

Las velocidades medias en atropellos con volteos sobre la aleta están en torno a los 40 km/h.



Figura 2.5 - Volteo sobre la aleta (Fender Vault) [97]

2.5.4 TRAYECTORIA DE VOLTEO SOBRE EL TECHO (ROOF VAULT)

El volteo sobre el techo aparece en aquellas situaciones en las que un peatón con un centro de masas más alto que el borde anterior del capó es lanzado al aire como resultado de la velocidad de impacto y/o el diseño del vehículo que es lo suficientemente alto para que el centro de masas del peatón sobrepase la línea del techo del vehículo.

Esta trayectoria es también común en los casos donde el vehículo está acelerando después del impacto o en aquellos supuestos que se producen a una alta velocidad de impacto donde el vehículo no se detiene hasta la fase post-impacto. Los volteos sobre el techo no son comunes a velocidades por debajo de 32 km/h. La velocidad aproximada para esta categoría está normalmente sobre 62 km/h.



Figura 2.6 - Volteo sobre el techo (Roof Vault) [97]

2.5.5 SALTO MORTAL (SOMERSAULT)

El salto mortal es la menos común de las trayectorias seguidas por un peatón. Su ocurrencia está documentada en un porcentaje menor del 2% de los atropellos a peatones.

Este tipo de trayectoria de los peatones es una extensión de la trayectoria de envolvimiento con la distinción debida a una, generalmente, mayor velocidad de impacto y/o a un impacto con una pequeña parte del cuerpo, donde la energía suministrada al peatón es suficiente para causarle un vuelo en el aire antes de impactar en la calzada. La velocidad media de impacto documentada para este tipo de atropellos está sobre 60 km/h.



Figura 2.7 – Salto mortal (somersault) [97]

Este subcapítulo ha sido extraído casi en su totalidad del artículo “La reconstrucción de accidentes. El atropello de peatones. (2ª parte)”. [114]

2.6 LESIONES

La velocidad del impacto, la tipología del vehículo, la rigidez y geometría del frontal del vehículo, la edad y la talla del peatón y la posición del peatón con relación al punto de impacto con el frontal del vehículo son algunos de los diversos factores que influyen en los atropellos, es por ello que la complejidad del estudio sobre las lesiones que puede sufrir un peatón es elevadísima. Durante este capítulo se analizará la biodinámica del cuerpo humano en estos eventos y la consiguiente distribución de las lesiones sufridas.

La realización de este tipo de estudios tiene una gran relevancia ya que con ellos se pretende comprender el mecanismo de lesiones en el peatón. Estas investigaciones ayudarán a diseñar mejores sistemas de protección, o eliminar materiales dañinos para la integridad física de las personas. Además, con ellos, se obtendrá un conocimiento necesario para la gestión de las lesiones de las personas atropelladas en las salas de emergencias hospitalarias. [18]

Existen dos caminos de avanzar en el conocimiento de la biomecánica lesional del peatón atropellado:

- ❖ Estudios epidemiológicos, más o menos extensos en la cantidad y calidad de la muestra, junto a estudios de investigación en profundidad.
- ❖ Análisis biomecánico de cada región anatómica afectada para conocer los mecanismos de lesiones y los principales parámetros que intervienen en la mayor o menor lesividad en cada registro anatómico.

2.6.1 Acercamiento epidemiológico a las lesiones observadas en peatones atropellados

Desde los años sesenta, y con mayor intensidad a partir de los años ochenta – noventa, se han realizado multitud de estudios epidemiológicos basándose en distribuciones estadísticas sobre las lesiones que presentan los peatones a la hora de sufrir un atropello según la región del cuerpo afectada.

Fue Estados Unidos el primer país que comenzó a realizar este tipo de estudios, entre julio de 1994 y marzo de 1998, creando el Estudio de Datos sobre Atropellos a Peatones (Pedestrian Crash Data Study, PCDS). Durante dicha investigación se estudiaron un total de 521 siniestros de este tipo con una cifra global de 4.107 lesiones catalogadas. La distribución porcentual de las lesiones observadas en este trabajo se muestra en la siguiente tabla 2.12.

La base de datos más amplia sobre atropellos a peatones se encuentra en la Facultad de Medicina de la Universidad de Hanover (MUH). Esta institución, desde 1985, ha estado llevando a cabo investigaciones en profundidad sobre este tipo de accidentes de acuerdo con un plan estadístico aleatorio de muestras, por encargo y financiación de la Administración Federal de Seguridad Vial alemana (BASt). En la tabla 2.12 también se muestran los porcentajes de lesiones en diferentes zonas corporales de los peatones producidos por atropello, basados en los datos recogidos en este estudio entre los años 1985 y 1998. La muestra contaba con la información de 782 atropellos en los que se registraron un total de 4056 lesiones. Sobre la base de este proyecto, se inició en julio de 1999 un nuevo proyecto de investigación en donde, además de dicha universidad, participa la Universidad Técnica de Dresden (TU-Dresden). El proyecto ha sido denominado “German In-depth Accident Study” (GIGAS) y está financiado conjuntamente a través del Gobierno alemán y de la industria automovilística alemana. Puede afirmarse sin temor a equivocarse que este sistema y esta base de investigación son un ejemplo a seguir en otros países que desafortunadamente no han hecho nada más que dar sus primeros y tímidos pasos.

Del análisis de la información contenida en esta base de datos se puede concluir que las lesiones más frecuentes en los atropellos se localizan en la cabeza, alrededor del 31,4%; y en las extremidades, una media del 32,6%. La tabla 2.12 expone ordenadamente cuatro ejemplos de la distribución de lesiones por zonas del cuerpo observadas en estudios con muestras significativas, salvo el estudio australiano que cuenta con un menor número de muestras:

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 2.12 - Distribución de las lesiones (AIS 2-6) apreciadas en peatones atropellados [90]

REGIÓN CORPORAL	USA (n=518)	Alemania (n=782)	Japón (n=240)	Australia (n=65)	TOTAL
Cabeza	32,7%	29,9%	28,9%	39,3%	31,4%
Cara	3,7%	5,2%	2,2%	3,7%	4,2%
Cuello	0,0%	1,7%	4,7%	3,1%	1,4%
Pecho	9,4%	11,7%	8,6%	10,4%	10,3%
Abdomen	7,7%	3,4%	4,7%	4,9%	5,4%
Pelvis	5,3%	7,9%	4,4%	4,9%	6,3%
Brazos	7,9%	8,2%	9,2%	8,0%	8,2%
Piernas	33,3%	31,6%	37,2%	25,8%	32,6%
Desconocido	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,2%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

El término AIS mencionado en la tabla superior hace referencia a la Escala AIS (Abbreviated Injury Scale), que podría traducirse como la escala abreviada de lesión, y que se publicó por primera vez en 1971. Desde entonces, ha sufrido diversas modificaciones, desde la versión 1985, 1990, 1998, 2005 y finalmente 2008 [5]. Para mayor simplicidad se presenta la AIS 85, ya que es a la que se hace referencia en este apartado. Se trata básicamente de un sistema de clasificación de las lesiones traumáticas en siete categorías a las que se les asigna un número entero entre 0 y 6, correspondiendo los valores más elevados a las lesiones más severas. En la tabla 2.13 se indica el significado dado a cada uno de los números AIS. Los valores de la última columna indican el rango de fatalidad asociado a cada valor AIS del 1 al 5, basados en estudios retrospectivos sobre víctimas de accidentes de tráfico.

Tabla 2.13 - Correspondencia entre los niveles de la escala AIS, su severidad y fatalidad.

AIS	Severidad	% Fatalidad
0	Ninguna	
1	Menor	0,0
2	Moderada	0,1 - 0,4
3	Seria	0,8 - 2,1
4	Severa	7,9 - 10,6
5	Crítica	53,1 - 58,4
6	Máxima lesión (virtualmente sin posibilidades de supervivencia)	100

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de índices de severidad AIS asignados a las lesiones más frecuentes.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 2.14 - Ejemplo de lesiones según su nivel en la escala AIS.

AIS 85	Cabeza	Tórax	Abdomen y Contenido de la Pelvis	Columna	Extremidades y Hueso de la Pelvis
1	Dolor de cabeza o mareos	Fractura de una costilla	Corte superficial de pared abdominal	Esguince local sin fractura ni dislocación	Fractura de dedo del pie
2	Inconsciente menos de 1 horas; fractura lineal	Fractura de 2 o 3 costillas; fractura de esternón	Corte o contusión de hígado, bazo o riñón	Fractura menos sin daño a la médula.	Fractura simple de tibia, peroné o pelvis
3	Inconsciente de 1 a 6 horas; fractura hacia dentro	Fractura de 4 o más costillas, 2 o 3 costillas fracturas y hemo o pneumotórax	Corte severo en bazo o riñón	Disco roto con daño a la raíz del nervio	Dislocación de rodilla; fractura de fémur
4	Inconsciente de 6 a 24 horas; fractura abierta	Fractura de 4 o más costillas con hemo o pneumotórax	Corte severo en hígado	Rotura parcial de médula	Amputación o fractura múltiple por encima de la rodilla (cerrada)
5	Inconsciente más de 24 horas; gran hematoma (100cc)	Corte parcial de la aorta	Rotura de riñón, hígado o colon	cuadriplejia	Fractura múltiple de pelvis (abierta)

Los datos representados en las dos siguientes figuras han sido extraídos de la Unidad de Investigación de Accidentes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Hanover. En la primera, se puede ver un esquema de las zonas normalmente afectadas en este tipo de accidentes entre peatón y vehículo. Se muestra además la trayectoria de la cabeza respecto de un vehículo pequeño (urbanos, familiares...) y grande (todoterrenos...) a diferentes velocidades (20km/h-40km/h).

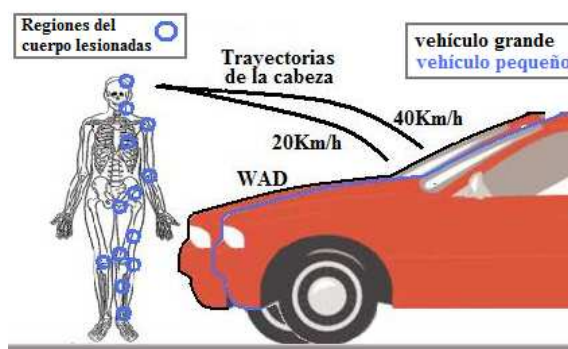


Figura 2.8 - Regiones del cuerpo lesionadas y trayectorias de la cabeza. [125]

La localización del punto de impacto de la cabeza en el vehículo depende en gran manera del tamaño y la forma del vehículo, de la altura del peatón y de la velocidad a la que se efectúe el atropello. Para un peatón adulto, el punto de impacto en un vehículo, generalmente, se encuentra en la parte final del capó, en el pilar A y en el cristal del parabrisas. Pueden encontrarse casos hasta en la parte superior del parabrisas o, excepcionalmente, en el techo del vehículo. En apartados posteriores de este capítulo se detallarán las diversas tipologías que se pueden presentar en un atropello.

En la figura de abajo, se pueden apreciar los porcentajes de lesiones en diferentes zonas anatómicas del cuerpo de los peatones causadas por una colisión con un vehículo de motor. Además, a la derecha se pueden ver los componentes de vehículo y de la propia carretera que, habitualmente, causan las citadas lesiones. [18]

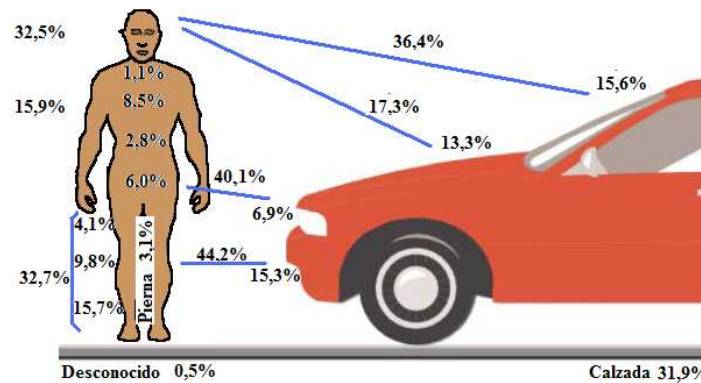


Figura 2.9 - Distribución de las lesiones corporales pro atropello y las zonas del vehículo que las producen.

El examen de las diferentes áreas del frontal del vehículo en consideración a su influencia en las lesiones muestra que el 15,6% de las lesiones son causadas por el cristal del parabrisas y su marco, el 13,3% por la parte superior del capó o las aletas, porcentajes que suman el 83%, y el resto hasta alcanzar el total comprende los casos desconocidos y las lesiones causadas por otras partes del vehículo. En referencia a las lesiones individualmente consideradas, por ejemplo la cabeza, se observa que el 36,4% de las lesiones son causadas por el parabrisas y su marco y el 17,3% son debidas al capó. En cambio en lo que a la cadera se refiere, el 40,1% de las lesiones registradas en esta región corporal son debidas a la parte superior del frontal del vehículo. Basta añadir, que el 44,2% de las lesiones en las piernas son consecuencia del impacto con el parachoques.

Resulta obvio destacar el efecto que tienen los parámetros de diseño del vehículo, tales como la altura, el ángulo del ataque, la rigidez del parachoques, la longitud y la rigidez del capó, en la severidad de las lesiones causadas a los peatones.

2.6.2 Análisis de las lesiones producidas por el atropello por registros anatómicos.

Los estudios referentes a la biomecánica identifican como se producen las lesiones, los criterios de evaluación de la resistencia biomecánica de cada órgano o biomaterial y los umbrales de tolerancia a los diferentes tipos de carga y esfuerzos. Varios organismos, empresas e instituciones nacionales e internacionales han señalado o dispuesto, en su caso, diferentes criterios de lesión y valores para los niveles máximos

de tolerancia de cada una de las partes del cuerpo. A continuación se desgranar de forma resumida los resultados de estos estudios, según las regiones anatómicas en que se suele descomponer el cuerpo humano.

LA CABEZA

La cabeza se compone de una estructura ósea, denominada cráneo, que rodea y protege el contenido intracraneal integrado, fundamentalmente, por el cerebro, el cerebelo y el tronco del encéfalo.

Según la mayoría de los autores anglosajones, las lesiones más frecuentemente observadas en la cabeza de los peatones, a consecuencia de los traumatismos craneoencefálicos (TCE) sufridos, son las fracturas craneales, incluyendo las laceraciones, las contusiones, los diferentes tipos de hematomas intracraneales y el Daño Axonal Difuso (DAD).

Las lesiones de la cara son heridas, raspaduras, cortes o lesiones debidos a la proyección sobre el parabrisas de un vehículo ligero, lo que explica también las heridas en los párpados, así como heridas más graves del globo ocular. En cambio, las fracturas de la cara, al margen de las clásicas fracturas nasales, no se encuentran en gran número; mientras que las fracturas del macizo facial se asocian, habitualmente, con lesiones masivas del cráneo. [18]

Estos traumatismos se producen por el impacto directo de una parte del vehículo contra la cabeza o, más frecuentemente, por el choque de la cabeza contra el suelo u otro obstáculo cualquiera. Cuando esto sucede se pueden observar tres tipos distintos de mecanismos de lesión:

- ❖ Lesiones craneales por impacto.
- ❖ Lesiones inerciales o de contra golpe: el cerebro golpeando la tabla interna de la bóveda craneana del lado opuesto al choque, por un mecanismo indirecto de agitación.
- ❖ Lesiones de desaceleración.

Las lesiones en la cabeza dependen, principalmente de la duración del impacto y de su localización en el cráneo, así como de la rigidez de la zona superficial de contacto, parte superior del capo y parabrisas. De tal forma que cuando la fuerza de impacto sobrepasa el nivel de tolerancia, el hueso craneal se fractura.

Por otro lado, si un peatón es golpeado por un objeto móvil, mientras se desplaza a gran velocidad, la masa encefálica, que tiene la consistencia de gel, se aplasta o comprime contra las paredes internas de la bóveda craneal, produciéndose de esta forma contusiones hemorrágicas de los lóbulos frontales y temporales por una parte, y del tronco cerebral por otra. De la misma forma, cuando la cabeza es objeto de una carga de inercia en una aceleración angular, habrá un movimiento relativo entre el cráneo y el cerebro.

La cabeza del peatón cuando contacta con el frontal del coche está sometida a la fuerza directa del impacto y a una fuerza de rotación debida a la aceleración angular, así

pues el peatón puede tener una lesión compleja de cráneo-cerebro originada por la respuesta combinada a este tipo de impacto.

El indicador HIC ha sido desarrollado para medir las aceleraciones lineales que actúan sobre las cabezas de los seres humanos, ya sean ocupantes de un vehículo o peatones, y es calculado según la siguiente ecuación:

$$HIC = (t_2 - t_1) \times \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_{res} x dt \right)^{2,5}$$

Donde t_2 y t_1 son dos tiempos arbitrarios durante el pulso de aceleración debido al impacto en el hueso frontal. La aceleración lineal resultante en el centro de gravedad de la cabeza es medida en múltiplos de la aceleración de la gravedad (g) y el tiempo es medido en segundos.

El HIC no tiene en cuenta la influencia de algunos factores, tales como la aceleración rotacional de la cabeza, o cualquier efecto de la localización del impacto en la cabeza, aunque tiene a su favor que es utilizado, casi universalmente, en la investigación de las lesiones producidas por todo tipo de colisiones.

El periodo de tiempo necesario para el cálculo de HIC ha sido establecido en 15 milisegundos y el valor máximo que puede alcanzar este indicador es 1000. Cuando el HIC supera ese valor se considera que ha alcanzado el umbral a partir del cual se esperan lesiones en las personas que sufren aceleraciones lineales de esa magnitud. El valor 1000 en el HIC se corresponde con un 16% de riesgo de causar unas lesiones en la cabeza de una severidad catalogada como AIS4 o superior.

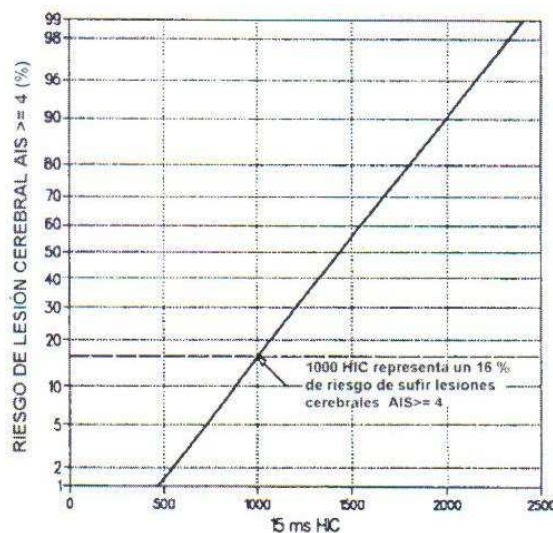


Gráfico 2.12 - Curva de correlación entre el riesgo de lesiones cerebrales y el índice HIC a 15ms. [18]

De la misma forma, a un valor de HIC de 1450 le corresponde un 50% de probabilidades de fractura de cráneo, mientras que un nivel de HIC de 799 se relaciona con un 5% de probabilidades de que suceda lo mismo.

Existe una cierta controversia sobre la validez del HIC como parámetro para determinar la probabilidad de observar lesiones en los seres humanos. Se han aportado diversos argumentos para criticarlo. El principal es que el HIC, como ya se había

apuntado anteriormente, sólo tiene en cuenta las aceleraciones lineales pero no son menos importantes las aceleraciones angulares y más cuando en el impacto se produce una combinación de ambas. Sin embargo, los límites de las aceleraciones angulares no han sido, todavía, establecidos para la cabeza humana. Algún trabajo aislado ha situado el límite cercano a los 13600 rad/s^2 , pero no está claro que éste sea un valor definitivo. Actualmente se cree que la investigación de los efectos combinados de las aceleraciones, angular y lineal, en las lesiones en la cabeza, en general, y en las lesiones cerebrales, en particular, pasa por crear y desarrollar modelos matemáticos detallados de la cabeza humana. Estos modelos deberían ser validados mediante estudios en profundidad sobre atropellos a peatones.

EL CUELLO

La cinemática del peatón al ser golpeado por un vehículo puede llevar a pensar que la columna vertebral y, específicamente, su zona cervical pueden estar sometidas a importantes sollicitaciones. De hecho a nivel cervical se aprecian movimientos de hiperextensión, por aplastamiento de la cabeza contra las estructuras del vehículo, o hiperflexión, en la caída dorsal al suelo. En algunos casos, aparecen asociadas a alteraciones neurológicas. [18]

La propuesta de actualización del ensayo de choque frontal según la legislación de EEUU, incluye algún criterio actualizado como el Neck Injury Criteria (NIC), que tiene en cuenta tanto esfuerzos como momentos medidos durante el ensayo y se define como:

$$N_H = \frac{F_z}{F_{int}} + \frac{M_y}{M_{int}}$$

Donde:

- ❖ F_z : Fuerza de tracción o compresión experimentada
- ❖ M_y : Momento flector experimentado.
- ❖ F_{int} : Valor de la fuerza crítica de tracción o compresión.
- ❖ M_{int} : Valor del momento flector crítico.

El nivel actual de tolerancia para la compresión axial fue establecido por Mertz en 1978. La tolerancia a compresión varía con la duración de la aplicación de la carga, con un valor pico de 4000N. Al contrario, Nyquist estableció, en 1980, que los límites para las cargas de tensión y de cizalladura estaban en 3300N y 3000N respectivamente. Los valores de la tolerancia a flexión y a los momentos de extensión y flexión están basados en los test llevados a cabo por Mertz, en 1971, con voluntarios y cadáveres.

EL TRONCO

En el tronco se puede distinguir dos partes: el tórax y el abdomen.

- ❖ El tórax es un cilindro de forma irregular coronado en su porción superior por la unión con el cuello, y en su límite inferior por el diafragma.
- ❖ En la parte inferior del tronco se encuentra la cavidad abdominal, que continúa la forma cilíndrica del tórax o incluso se ensancha formando una especie de tronco de cono. La parte inferior del abdomen se encuentra apoyada sobre las caderas y la pelvis.

En el tórax se encuentran los pulmones y el corazón, mientras que en el abdomen existe una serie de órganos sólidos, (hígado, bazo, páncreas, riñones y glándulas suprarrenales). Además, en el tronco se encuentran una serie de huecos (esófago, estómago y los intestinos). También tienen interés otros órganos que pertenecen a la cavidad pélvica como pueden ser la vejiga y en su caso, el útero y los ovarios.

Los traumatismos torácicos pueden causar fracturas de la parrilla costal, del esternón y lesiones broncopulmonares.

Las lesiones de tórax pueden atribuirse a tres mecanismos: la compresión del tórax, la carga viscosa dentro de la cavidad torácica, y la carga de inercia de los órganos internos. La fuerza de compresión en el tórax puede producir la fractura de costillas, fractura de esternón, hemotórax y neumotórax. La viscosidad y la carga de inercia interna pueden causar contusiones en los pulmones y rotura en venas. Las lesiones de tórax en accidentes suelen ser, a menudo, el resultado de una combinación de estos tres mecanismos.

No existe un criterio definido para medir el riesgo de lesión en el tórax en el caso de los peatones. La NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ha establecido el Índice de Daño Torácico (Thoracic Trauma Index, TTI) como criterio para utilizar en los test de impacto lateral. Este índice se calcula usando la fórmula siguiente:

$$TTI(d) = \frac{1}{2}(G_r + G_{ls})$$

Donde:

- ❖ Gr: es el mayor de los picos de aceleración soportados tanto por las costillas superiores como por las inferiores.
- ❖ Gls: es el menor pico de aceleración en la médula espinal (T12)

El límite establecido por la NHTSA para el índice TTI alcanza el valor de 90g's para un vehículo de pasajeros con dos puertas laterales. Yang sitúa este límite para peatones en 85g's, en su informe a la Red Europea de Seguridad Pasiva (EPSN). [125]

LA PELVIS

Dentro del sistema óseo del cuerpo humano, la pelvis es la estructura que soporta el tronco y transmite los esfuerzos procedentes de la columna vertebral a las extremidades inferiores, las cuales se encuentran conectadas mediante las articulaciones coxofemorales.

Las lesiones más frecuentes en peatones, y también en conductores y ocupantes de motocicletas, ciclomotores y bicicletas, son las fracturas abiertas, las fracturas de diversas zonas del mismo hueso y los focos de fractura conminuta. Las fracturas de pelvis, especialmente las clasificadas como inestables, son las que mayor riesgo vital suponen para el peatón, dentro de las del aparato locomotor.

Existen tres mecanismos que pueden llegar a provocar fracturas en la pelvis. Están clasificados en subtipos y diferentes grados: la rotación externa, la compresión lateral y el cizallamiento. Las lesiones por rotación externa proceden tanto de la compresión anterior directa sobre la sínfisis púbica como de una rotación externa brusca de las caderas, típica en atropellos a altas velocidades. Una carga lateral concentrada en la pelvis y en la zona superior del fémur por el borde del capó tiene como resultado la aparición de lesiones por compresión. Estas lesiones, frecuentemente, afectan a diversas zonas anatómicas: sínfisis pública, rama púbica, acetábulo (zona de cadera), zona femoral y zona proximal del fémur

Se ha propuesto por parte de Cesari [16], en 1982, como umbral de rotura de la pelvis un pico de fuerza medio de 10 kN, para ser aplicado a un test con un subsistema impactador de 11,1 kg. Este impactador registra fuerzas y momentos flectores. Así, un momento flector de 300 Nm se asocia con una probabilidad de fractura de fémur del 18% y una fuerza resultante de 5 kN se asocia con la misma probabilidad de fractura. Estas dos cifras son las que utiliza como referencia EuroNCAP en sus valoraciones de los vehículos nuevos. [18]

LAS EXTREMIDADES INFERIORES

Las lesiones de las extremidades inferiores, casi con toda probabilidad, son causadas por el impacto del frontal del vehículo. La figura siguiente muestra una representación esquemática de las principales lesiones que se producen como consecuencia de un atropello en el que la posición del peatón es lateral. Una fuerza de impacto lateral que aplique una carga de torsión axial en la pierna, puede producir multitud de lesiones.

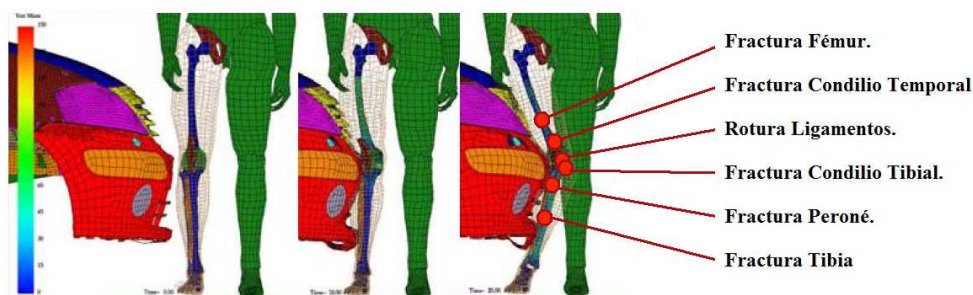


Figura 2.10 - Lesiones principales producidas de las extremidades inferiores del peatón a consecuencia del atropello. [125] [3]

Las tipologías de lesiones en las extremidades inferiores más comunes en este tipo de atropellos son las fracturas de huesos largos (fémur, tibia y peroné), las lesiones de rodilla y los esquinces o fracturas del tobillo o del pie. Por ejemplo, en los datos de accidentes recogidos en un estudio británico, las lesiones en las extremidades inferiores alcanzaban el 67% en las víctimas con lesiones menos graves y el 72% en las víctimas que presentaban lesiones graves no mortales [18]. De forma parecida, datos recogidos en un estudio denominado ITARDA, aportado por Japón, han señalado que las extremidades inferiores son las partes del cuerpo más comúnmente lesionadas, alrededor del 40%. La mayoría de las lesiones son graves.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Las cargas sobre las extremidades inferiores son típicamente aplicadas de forma lateral. Condiciones de cargas éstas que difieren de aquellas otras que soportan los ocupantes o el conductor de un vehículo que probablemente sufrirán el impacto en la dirección paralela al plano sagital. Las lesiones observadas en los peatones a consecuencia de su impacto con un vehículo son, desde este punto de vista, únicas.

Estas lesiones son la consecuencia normal del impacto en la pierna del peatón de alguna de las partes del frontal del vehículo, tales como el parachoques, el capó y la parte superior del frontal. Este tipo de impacto y la subsiguiente aceleración transmitida a las extremidades inferiores tiene como resultado que se observen mecanismos complejos de lesión. Se han apuntado como mecanismos de lesión en las extremidades inferiores [18]: primero, la aceleración de la tibia en la parte proximal y segundo el desplazamiento.

Los dos mecanismos lesionales más importantes, relacionados con la producción de lesiones en las extremidades inferiores del peatón al impactar con el parachoques del vehículo, son el cizallamiento (shearing), y la doblez lateral (bending). [18]

No existe un indicador único aplicable a todos los huesos, articulaciones, músculos y ligamentos de las extremidades inferiores, pero la siguiente tabla resume perfectamente los valores umbral de aplicación usual en cada uno de los principales huesos de esta región anatómica:

Tabla 2.15 – Valores límite de las fuerzas y momentos aplicados a las extremidades inferiores. [125]

REGIÓN CORPORAL	FUERZA COMPRESIÓN AXIL [kN]		MOMENTO DE TORSIÓN [Nm]		MOMENTO DE FLEXIÓN [Nm]		FUERZA TRANSVERSAL [kN]	
	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino
Fémur	3,0-10				320			
	7,7	7,1	175	136	310	180	3,9	2,6
Tibia							2,5-8	
					317±88	278±30	4,7±1,4	4,1±1,2
	10,4	7,5	89	56	7	124	3,4	2,3
Peroné	0,6	0,5	9	10	27	17	0,5	0,3

A continuación se exponen a modo resumen dos esquemas. En el primero se pueden apreciar los umbrales de fuerza admisibles en cada zona anatómica capaces de crear lesiones en el peatón. [106]

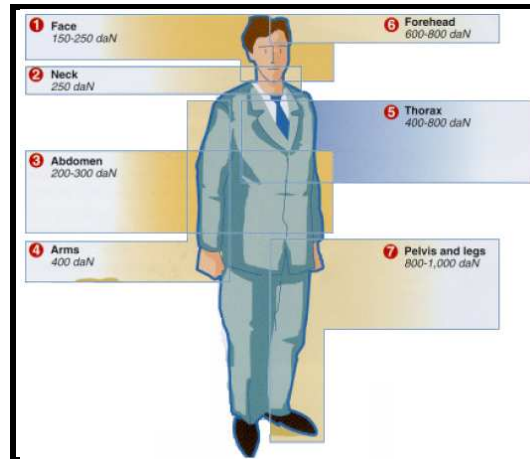


Figura 2.11 - Criterios lesionales

En el segundo gráfico queda reflejado como varía la gravedad de las lesiones en cada zona corporal respecto a diferentes parámetros y magnitudes. [106]

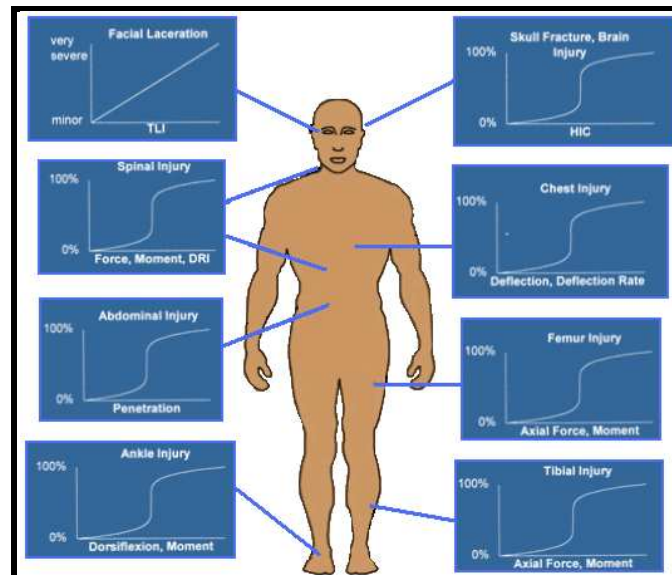


Figura 2.12 - Límites lesionales

Este apartado ha sido extraído casi en su totalidad del artículo “La reconstrucción de accidentes. El atropello de peatones (3ª parte). [112]

2.7 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE ATROPELLOS

Existe una gran utopía en el mundo actual: que no haya accidentes de tráfico. De ese modo no habría ni víctimas heridas ni mortales provocadas por vehículos. Ser capaces de utilizar grandes y potentes máquinas como son los vehículos sin correr riesgo alguno. Pero lamentablemente eso no es así, existen más víctimas de las deseadas. Como se comentó anteriormente, España todavía tiene mucho que mejorar para alcanzar niveles aceptables e igualarse, al menos, con otros países europeos.

Centrándose en los atropellos, aunque puede ser extrapolado al resto de accidentes sean de la naturaleza que sean, está claro que los menos dañinos son los que no se producen, por tanto, la mayoría de las medidas propuestas van encaminadas hacia este propósito. Como ya se sabe, alrededor del 10-15% de los accidentes de tráfico producidos en carretera o en zona urbana son atropellos [22], una cifra horriblemente elevada y que para disminuirla requiere un grandísimo esfuerzo de toda la sociedad para que año tras año, las cifras de víctimas afectadas descendan. Es necesario un compromiso general en todos los niveles sociales, desde los más altos, como son las administraciones públicas, hasta el nivel más bajo representado por los ciudadanos, peatones y conductores, sin olvidar a los fabricantes de vehículos.

Tabla 2.16 - Porcentaje de atropellos

	Carretera	Zona urbana	Total
Atropellos	1.239	8.582	9.821
totales	49.820	50.688	100.508
%	2%	17%	10%

De forma general, además de la clasificación básica de las medidas según sean de prevención o protección, es posible diferenciar las medidas según sea su carácter o naturaleza, en los siguientes tipos: [18]

- ❖ Medidas Legales.
- ❖ Medidas en Infraestructuras.
- ❖ Medidas de Educación, Divulgación y Concienciación.
- ❖ Medidas Técnicas adoptadas en los vehículos.

2.7.1 MEDIDAS LEGALES

Básicamente las medidas legales se pueden resumir en el cumplimiento de la actual legislación referente al tráfico. Se trata de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial, aprobada por el Real Decreto Legislativo 339/1990 el 2 de marzo, adaptado a la Ley Orgánica 15/2007 en noviembre de 2007 [108]. En ella se especifican las diferentes normas de circulación que afectan a todos los

usuarios de las vías, incluidos los peatones. Entre estas normas referentes a los peatones es posible destacar las siguientes:

- ❖ Prioridad de paso.
 - Los vehículos deben ceder el paso a los peatones.
 - En los pasos de peatones debidamente señalizados.
 - Cuando el conductor de un vehículo al girar para entrar en una vía se encuentre con peatones cruzándola, aunque no exista paso para éstos.
 - Cuando el vehículo cruce un arcén por el que estén circulando peatones que no dispongan de zona peatonal.
 - Cuando el vehículo circule por una zona peatonal.
 - A los peatones que vayan a subir o se hayan bajado de un vehículo de transporte colectivo de viajeros, en una parada señalizada.
- ❖ Prohibiciones de adelantamientos, paradas y estacionamientos.
 - Está prohibido adelantar en pasos para peatones señalizados.
 - Está prohibido parar en los pasos para peatones.
 - Está prohibido estacionar sobre las aceras, paseos y demás zonas destinadas al paso de peatones.
- ❖ Obligaciones de los peatones.
 - Están obligados a transitar por la zona peatonal, salvo cuando ésta no exista o no se practicable, en cuyo caso podrán hacerlo por el arcén o, en su defecto, por la calzada.
 - Fuera de poblado, y en tramos de poblado incluidos en el desarrollo de una carretera que no dispongan de espacio especialmente reservado para peatones, como normal general, la circulación se hará por la izquierda. Deberán ir en fila india en caso de ir más de una persona.
 - Salvo en condiciones especiales, queda prohibida la circulación de peatones por autopistas.
 - En caso de tener que transitar por fuera de la acera en horas nocturnas están obligados a llevar chaleco reflectante.

Además de todas estas normas, la legislación se complementa con toda una disposición de sanciones para cada tipo de infracción.

2.7.2 MEDIDAS EN INFRAESTRUCTURAS

Para que no se produzcan los accidentes donde se ven afectados vehículos y peatones, los atropellos, ha sido necesario llevar a cabo una serie de medidas de infraestructuras tanto en carreteras como en zonas urbanas. Estas medidas puede ser clasificadas en dos categorías: [111] [44]

- ❖ Separación física entre los vehículos y los peatones, en forma de las distintas plataformas que conforman una vía, como son principalmente las aceras y arcenes.

- ❖ El empleo de los llamados pasos de peatones, ya sean de cebra, semaforizados, a distinto nivel o integrados en reductores de velocidad (badenes o elevaciones de calzada)



Figura 2.13 - Paso de peatones de distinto nivel –pasarela elevada- (izda.) y paso peatones -badén- (dcha.).

La localización de estos pasos de peatones tiene una gran importancia para evitar que los peatones crucen de forma indebida la calzada, para ello es necesario llevar un estudio del entorno para saber dónde deben ser colocados. Los pasos deben situarse cerca de zonas escolares o comerciales, y en general cuando la intensidad tanto de vehículos como de personas supere unos valores determinados. El Ayuntamiento de Madrid sitúa estos valores para localizar un determinado tipo de paso de peatones en cruce, con intensidades de 300 vehículos/hora y 300 peatones/hora. Estos valores parecen ser generalmente adoptados en la mayoría de las ciudades [44].

A pesar de que existe cierta regulación sobre las características que deben tener los pasos de peatones incluida en el Reglamento General de Circulación, en muchas ciudades españolas es posible observar diferentes tipos de estos pasos que no siguen un mismo patrón, como por ejemplo, incluyendo pintura de distintos colores, el empleo de badenes de diferentes formas y alturas, badenes prefabricados, bandas sonoras, señales luminosas, etc. Por todo esto, la Comisión de Seguridad del Congreso ha aprobado en noviembre de 2008 una proposición no de ley para homologar los pasos de peatones de toda España [24].

También se fijan las características que deben tener los diferentes tipos de pasos de peatones, entre los que destacan los pasos de cebra, por ser los más empleados. Están especificados con un mínimo de 4 metros de anchura, y en función de la longitud, emplear isletas, o medianas de refugio para separar el paso en dos o más tramos. Las marcas viales deben ser únicamente de color blanco con una anchura y separación de 50 cm.

Además, la nueva normativa establece que el modelo de los reductores de velocidad será "una plataforma trapezoidal de 10 centímetros de altura como máximo, construida en hormigón o material asfáltico, con un máximo de 4 metros de largo y unas rampas de subida y bajada de entre 1 y 2,5m, dependiendo del límite de velocidad

existente: 1m para límites de 30 km.; 1,5m para 40 km. y 2,5m para velocidades de 50 Km", según señaló AEA. [119]

Lo más novedoso, pero que aún no ha llegado a España son los muros virtuales para proteger a los peatones a la hora de cruzar por los pasos de cebra. Se trata de un sistema diseñado por Hanyoung Lee que busca llamar la atención al conductor. Está compuesto por dos columnas situadas en cada acera e inmediatamente antes del paso de peatones. De este modo cuando detectan que un peatón está cruzando, reproducen un enorme holograma que simula a unos peatones cruzando.



Figura 2.14 - Muro virtual. [93]

2.7.3 MEDIDAS DE EDUCACIÓN, DIVULGACIÓN Y CONCIENCIACIÓN.

No vale de nada crear nuevas infraestructuras, nuevas leyes que permitan conciliar la circulación de los peatones con los vehículos, añadir nuevas medidas de seguridad a los vehículos ya que no garantiza, en absoluto, una mejoría notable en la erradicación de los accidentes de tráfico, en especial los atropellos. Hace falta hacer saber a la sociedad entera la existencia de todas aquellas medidas para que sean tomadas en cuenta por los ciudadanos y así poder hacer uso de ellas. Para ello son necesarias la educación, divulgación y concienciación.

Desde muy temprana edad se empieza a formar parte de los peatones con mayor o menor frecuencia por lo que es necesario que el entorno más cercano, la familia, genere conductas adecuadas relacionadas con la Seguridad Vial. Ejemplo de ello puede ser cruzar de forma adecuada las calles, la manera correcta de viajar en un coche o el comportamiento que se debe tener cuando se monta en bicicleta. A medida que la persona crece, serán las escuelas las que complementen y asienten esos conocimientos apoyadas en muchos de los casos por las administraciones locales o autonómicas y también privadas. Hasta hace unos años, estas administraciones tan sólo daban charlas a los alumnos sobre diferentes temas de Seguridad Vial pero hoy en día, se ha dado un salto en cuanto al método de enseñanza, haciendo que los alumnos aprendan de manera activa. La Dirección General de Tráfico (DGT) ha creado parques infantiles de tráfico donde los niños pueden ser conductores, pilotando karts eléctricos, y también ser

peatones, siempre supervisados por policías para que aprendan las normas de Seguridad Vial, una manera útil y eficaz de que los niños aprendan.



Figura 2.15 - Kart Seguridad Vial.

Más tarde, cualquier persona que quiera ser conductor de cualquier vehículo a motor por las calles y carreteras deberá aprobar una serie de exámenes dirigidos por la DGT, tanto teóricos como prácticos.

Además de todo esto, los medios de comunicación también participan en este proceso social de educación vial, que conlleva que en mayor o menor medida puedan prevenirse los accidentes de tráfico en general y los atropellos en particular.

Una vez que la sociedad ya ha adquirido un cierto nivel de educación vial, es necesario llevar a cabo cada cierto tiempo medidas encaminadas a destacar y recordar la importancia que tiene el respeto de las normas viales para poder conseguir que los accidentes de circulación sigan una tendencia descendente año tras año. Este tipo de medidas de prevención pueden agruparse en dos: divulgación y concienciación.

- ❖ Para mostrar lo importante que es el respeto a las normas es necesaria la divulgación de los muchos datos que se recogen y analizan continuamente relacionados con la seguridad vial. Muchos de estos datos parten de estudios realizados por entidades públicas, como los que realiza y publica la DGT, o los que realizan entidades privadas como el RACE o RACC. Uno de estos informes es el “Estudio Europeo sobre Pasos de Peatones” realizado en el marco de EuroTest, que analiza las cifras sobre atropellos en diez países europeos, comparando legislación y normativa de diseño de este tipo de infraestructuras.
- ❖ Los datos recogidos en los diferentes informes y estudios, además de ser divulgados públicamente, son analizados por las administraciones para crear estrategias que hagan posible una reducción del número de accidentes o de víctimas. Algunas de estas estrategias tienen como principal acción las campañas de concienciación que regularmente pueden verse en diferentes medios de comunicación, en las propias carreteras, o en cualquier otro

espacio y lugar. Muchas de las campañas de concienciación son puestas en marcha por la DGT, aunque otras se impulsan desde ámbitos más locales.

Si existe una cualidad con la que puede definirse al conjunto de peatones, es que son indisciplinados con respecto a las normas viales, puesto que comenten un gran número de infracciones. Sin duda, las medidas de divulgación junto con las de concienciación, ayudan a modificar esta actitud, favoreciendo el respeto por las normas, y haciendo que se consiga reducir la cifra de víctimas afectadas por los atropellos.

2.7.4 MEDIDAS TÉCNICAS ADOPTADAS EN LOS VEHÍCULOS

En el anterior capítulo se habló de los tres elementos que intervenían a la hora de producirse un accidente. Ya se ha hablado de las medidas adoptadas para prevenir o eliminar aquellos factores susceptibles de provocar accidentes de tráfico referentes a la “vía”, infraestructuras; y al “ser humano”, educación, divulgación y concienciación. Por lo que ahora se hablará del tercer elemento, el vehículo. Existe hoy en día una revolución en la industria del automóvil cuya finalidad es la de evitar o proteger a los ocupantes del vehículo y a los posibles peatones en caso de que el accidente no pueda evitarse. Por tanto, se puede hablar de dos medidas de seguridad: activa y pasiva.

Tratándose del tema de atropello se prestará atención a aquellas medidas de seguridad que se han equipado a los vehículos para proteger al peatón en caso de atropello, o evitar que éste se produzca. [6] [55] [61] [73] [95]

Elementos de seguridad activa.

Cámaras de infrarrojos: Algunos vehículos incorporan cámaras que permiten visualizar por delante de ellos a peatones que se encuentran en la oscuridad, a más distancia que el alcance de los faros del vehículo. También permiten visualizar a viandantes en condiciones de mínima visibilidad, como puede ser una densa niebla. [25]



Figura 2.16 - Sistema de night visión de BMW.

Sistemas de detección de obstáculos: Se trata de sistemas basados en la tecnología de visión artificial, que son capaces de reconocer la naturaleza de diferentes objetos que pueden situarse delante del vehículo, incluidos los peatones. Mediante un sistema radar el vehículo es capaz de detectar y evaluar la amenaza que puede suponer el objeto. Estos sistemas pueden actuar de forma automática activando los frenos, consiguiendo una frenada más rápida y eficaz. [74] [85]



Figura 2.17 - Esquema de funcionamiento del sistema de detección de obstáculos montado en el Lexus LS600h.

Sistemas de frenada: El ABS (Antilock Braking System) trabaja regulando la frenada para evitar el bloqueo de las ruedas y manteniendo la dirección en caso de ser necesario. Desde su aparición se ha ido perfeccionando dando lugar a nuevos modelos aún más seguros: el asistente de frenada de emergencia BAS (Brake Assist System), el repartidor de frenada electrónico EBV (EBD) o los frenos direccionales SERVOTRONIC.

Ante una situación de peligro, un sensor detecta que se ha pisado rápidamente y con fuerza el freno. En ese momento actúa el servofreno adicional aumentando al máximo la presión de frenado y reduciendo la distancia recorrida. EBV (Electronic Brake Variation System) (EBD). A través de un sensor, se regula la frenada entre el eje delantero y trasero según el peso de cada uno, enviando más o menos presión a las ruedas. SERVOTRONIC. [77] [85] [92]

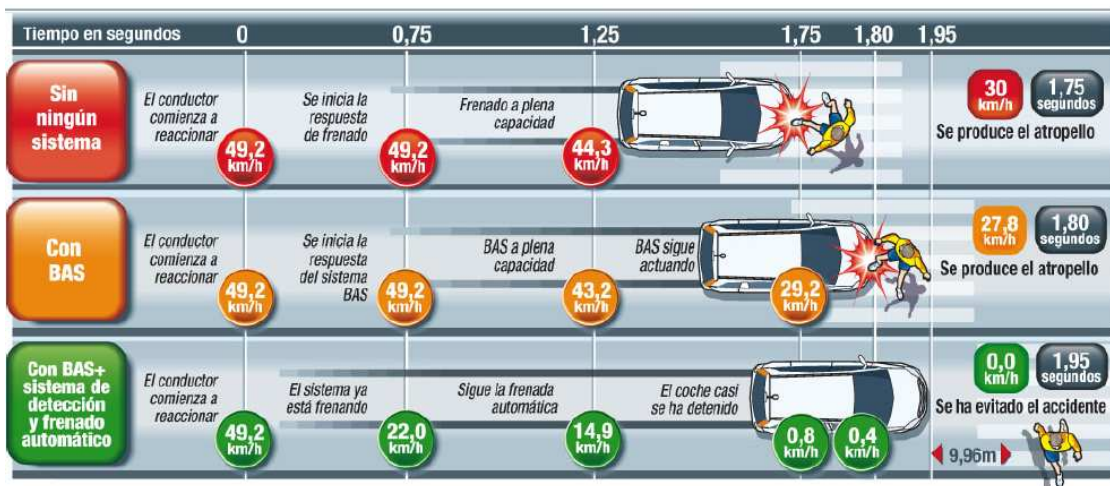


Figura 2.18 - Se puede evitar un atropello

Sistema de seguridad en ciudad (City Safety): Su funcionamiento consiste en que un sensor láser, situado en la parte superior del parabrisas, detecta los vehículos que están seis metros por delante del paragolpes. En base a la velocidad a la que se circula y la distancia al vehículo de enfrente, el sistema hace un cálculo 50 veces por segundo para estimar la velocidad de frenado para evitar la colisión. A este sistema se le llama frenado automático anti atropello. El aparato combina un radar de espectro más amplio con una cámara. Si el sistema detecta que se acerca un peatón, enciende una luz sobre el parabrisas y activa una señal sonora. Si el conductor no frena y puede producirse un atropello, el sistema activa automáticamente los frenos. [57]



Figura 2.19 - Sistema de seguridad en ciudad (city safety).

Recientemente, se ha desarrollado un nuevo prototipo, que se espera que tras su homologación salga al mercado en breve. Este nuevo método anti-atropello detecta la cercanía de un peatón en la vía pública a través de cámaras de video y avisando al conductor de un posible atropello. Fue desarrollado por la universidad española de Alcalá de Henares. El profesor responsable del proyecto, Miguel Sotelo, demostró su funcionamiento a bordo de un Citroën C4.

Según declaró Sotelo, “este sistema está especialmente diseñado para detectar peatones en entornos urbanos, dentro de las velocidades normales y permitidas, y servirá para incrementar la seguridad vial, evitar accidentes e incluso aminorar los efectos de los mismos”. [10]

Elementos de seguridad pasiva

Diseño del frontal: Son muchas las medidas que se pueden adoptar en relación con el diseño del frontal. El diseño de dicha parte ha cambiado en los últimos años buscando específicamente que sean menos agresivos con los peatones en caso de atropello.

Por un lado están todas aquellas medidas que mejoran aspectos de la geometría y de los materiales. Se buscan formas más suavizadas, con menos aristas; parachoques menos rígidos; que cumplan los parámetros definidos por EEVC/WG17 (se hablará de ello en el capítulo 3), como el WRAP; materiales ideados para absorber gran parte de la energía del choque. Además, se han diseñado sistemas como el Ped-pro, montado en el

Opel Corsa y que da cabida a un soporte flexible en las aletas, menor espesor de la chapa del capó, bisagras deformables y el embellecedor del torpedo de luna deformable. De la misma forma, se monta un revestimiento plástico delantero con puntos de rotura definidos. [84] [89]

También, la zona del capó es un componente importante ya que afecta en gran medida a las lesiones producidas en un peatón al ser atropellado. La capacidad de amortiguación del capó y, por lo tanto, su nivel de protección, está relacionada con su rigidez. La rigidez depende de factores como el diseño del panel exterior y de su armazón interior, del material, del espesor de la chapa y del empleo de adhesivos.

El diseño tradicional de los capós presenta un panel exterior reforzado por un esqueleto metálico interior. Esta estructura está pensada para controlar el plegado del capó y evitar su intrusión en el habitáculo ante un impacto frontal; pero da lugar a zonas muy resistentes y con una capacidad de absorción de impactos muy limitada.

Por este motivo, se ha desarrollado una nueva estructura para los capós, capaz de absorber los impactos y minimizar los daños en la cabeza en el caso de atropellos. Se denomina multicono. Esta estructura y el empleo de un adhesivo elástico intercalado entre estos conos y el panel exterior consiguen absorber un impacto de forma efectiva a lo largo de toda la superficie del capó.

La capacidad de absorción puede ser ajustada actuando sobre la geometría de los conos (diámetros superior e inferior, altura del cono), distancia entre conos y tipo y cantidad del adhesivo empleado. Además, ofrece una ventaja añadida, y es que se obtiene una mejora en la rigidez, que permite emplear chapa de menor espesor y así obtener capós más ligeros. [101]



Figura 2.20 - Distinto diseños de capós: diseño tradicional (arriba), diseños actuales multicono variando la rigidez (abajo). [47]

Airbags: además de los airbags situados en el interior del vehículo, se están desarrollando nuevos modelos de airbags delanteros para ofrecer protección a los peatones en caso de atropello. Las zonas del vehículo que protegen son aquellas que entran en contacto más habitualmente con el peatón, es decir, el parachoques y el extremo del capó situado junto al parabrisas, además del pilar A de la estructura. El sistema de activación de los airbags del parachoques se basa en un sistema de detección de obstáculos, o peatones, ya que debe inflarse antes de que se produzca el contacto. El airbag que protege el pilar A y la parte alta del capó se activa a la vez que el del parachoques, aunque puede activarse a través de unos sensores de contacto. [17] [57]



Figura 2.21 - Ejemplos de airbags situados en el frontal del vehículo para proteger al peatón en caso de atropello.

Sistema pop-up: Diseñado para elevar la parte del capó más alejada del frontal a una determinada altura, amortiguando el impacto entre el peatón y el vehículo, pudiendo reducir considerablemente el alcance de las lesiones de los peatones. Esto es posible ya que genera un espacio libre entre el capó y las partes duras del vehículo, como pueden ser el motor u otros elementos estructurales. El sistema está constituido por un sensor de impactos [35] para peatones, montado sobre la traviesa del paragolpes, consistente en un anillo de fibra óptica, y dos decelerómetros situados por detrás del paragolpes. En caso de colisión, estos elementos envían la información al módulo de control y, si éste interpreta que se trata de un peatón y que el vehículo está dentro de la gama de velocidades predeterminada, dispara dos pirotécnicos, que liberan los pestillos de las cerraduras elevando el capó una altura de 65mm respecto a su posición de reposo en tan solo 40 milisegundos. [47] [101]



Figura 2.22 - Secuencia funcionamiento del sistema pop-up.



Figura 2.23 - Detalle del sistema pop-up montando en el Citroën C6.

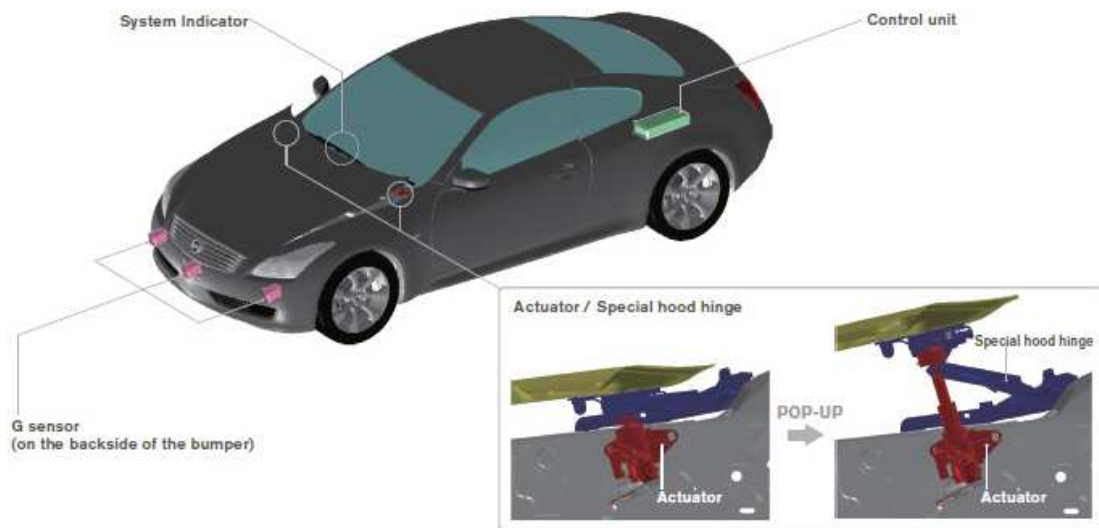


Figura 2.24 - Detalles del sistema.

Existen otros sistemas que no han sido mencionados porque no han sido especialmente ideados para evitar atropellos, aunque sí permiten hacerlo en determinadas ocasiones como puede ser el sistema de control de estabilidad, ESP; asistencia en la frenada mediante suspensión neumática...



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

3 LOS ENSAYOS DE ATROPELLO

3.1 INTRODUCCIÓN

Como cualquier producto que es comercializado debe pasar una serie de pruebas de homologación para certificar que cumple con los requerimientos mínimos y que garantice al cliente una cierta calidad. Los requisitos básicos están recogidos en diferentes normativas dependiendo del aspecto a tratar y del país o región en la que se vaya a comercializar dicho producto.

En el caso de los vehículos deben pasar una serie de pruebas de homologación de diferente índole (seguridad, emisiones...) para certificar que cumple con todas las normas vigentes. En especial, durante este capítulo se centrará en aquella normativa que detalla los ensayos que se han de realizar y como han de realizarse para valorar la protección que ofrecen a las ocupantes del vehículo como a las personas atropelladas.

En los últimos años se han presentado muchas propuestas para rebajar la tasa de víctimas provocadas por accidentes de tráfico y especialmente para prevenir a los peatones en caso de atropello como se ha expuesto en el capítulo anterior. Estas medidas deben ser puestas a prueba para comprobar la eficacia y el cumplimiento de la normativa. Es por ello que es necesario realizar diferentes test, a los que se les puede denominar ensayos de atropello.

Las normas de homologación de los vehículos existentes en España están regidas bajo las directivas europeas.

Es posible realizar una clasificación de los diferentes ensayos de atropellos que existe, según los siguientes criterios.

- ❖ Finalidad. Algunos de los ensayos se realizan para poder homologar los vehículos, mientras que otros se llevan a cabo como parte de la investigación y el desarrollo de nuevos elementos de protección de los vehículos. Además, existen los realizados para informar a los futuros compradores de los vehículos sobre su nivel de protección hacia el peatón, o aquellos utilizados para comprobar que los diseños cumple las especificaciones.
- ❖ Realización. En función de la finalidad de los ensayos de atropello, los pueden realizar los laboratorios de homologación, los fabricantes de los vehículos, los consorcios de valoración de vehículos nuevos (NCAP), etc.
- ❖ Elementos empleados. Básicamente existen dos tipos de ensayos de atropello, unos en los que se emplean impactadores que simulan las diferentes partes del cuerpo de una persona, y otros, en los que se emplean dispositivos que representan y simulan el cuerpo completo del peatón, como es el caso de los Crash test dummies.

- ❖ Información obtenida. La información que se obtiene de los ensayos puede ser muy variada, desde el daño que produce el parachoques sobre la pelvis de una persona, hasta la cinemática del atropello o las zonas de impacto del cuerpo humano. Puede ser información cuantitativa basada en resultados registrados por sensores, o cualitativa, basada en la visualización directa, en vídeo o fotografía del resultado del ensayo.
- ❖ Método de ensayo. Actualmente los ensayos de atropello se pueden realizar empleando sistemas reales en laboratorio o simulaciones por ordenador con modelos matemáticos.

Por lo tanto, este capítulo está dedicado a los ensayos de atropello como todos los aspectos relacionados con estas pruebas, incluyendo:

- ❖ La regulación actual existente, incluyendo los principales detalles.
- ❖ Las dos tipologías de ensayos que se realizan, tanto los basados en subsistemas como los que utilizan sistemas de tamaño real.
- ❖ Información relacionada con los dummies.
- ❖ Los ensayos realizados por EuroNCAP.
- ❖ Programas utilizados para la simulación de los ensayos de atropello

3.2 REGULACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ATROPELLO

Durante este apartado 3.2, se va profundizar en las directivas y normativa que rigen como han de realizarse cada uno de los ensayos de atropello para comprobar la seguridad que presentan los vehículos tanto a los ocupantes del vehículo como a los posibles peatones atropellados, centrándose particularmente en estos últimos puesto que este Proyecto está dedicado al atropello.

3.2.1 DIRECTIVAS EUROPEAS

En la actualidad existe una Directiva Europea, de la cual se sirve España, sobre la homologación de vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos, se trata de la 2007/46/CE. Aunque sigue vigente, dentro de poco va a ser derogada y sustituida por una más completa, actual y viable.

En la Directiva 2007/47/CE se incluye una lista exhaustiva de características para la homologación de tipo CE de vehículos, distinguiendo por categorías y tipos, e indicando la Directiva que debe cumplir cada subsistema del vehículo. [27] [28] [29] [30] [31] [32]

Así se especifican las Directivas que se han de cumplir para que un vehículo pueda ser sacado al mercado en la Unión Europea. Especialmente relacionadas con este proyecto están las directivas relacionadas con las medidas de seguridad pasiva, que son puestas a prueba con los Crash Test: la Directiva 96/27/CE y la Directiva 96/79/CE. También están las referidas a la protección de los peatones: la Directiva 2005/66/CE y la Directiva 2003/102/CE.

A continuación se define brevemente el ámbito de actuación de cada una de ellas:

- ❖ Directiva 96/27/CE: sobre la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión lateral.
- ❖ Directiva 96/79/CE: relativa a la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión frontal, que ha sido actualizada por la Directiva 1999/98/CE.
- ❖ Directiva 2005/66/CE: se limita a la homologación de todos aquellos vehículos que equipan sistemas auxiliares de protección delantera, como las llamadas “defensas” en los vehículos todoterreno.
- ❖ Directiva 2003/102/CE: es de obligado cumplimiento para la homologación de todo vehículo automóvil comercializado en Europa, además de ser la regulación cuyo fin es la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública en caso de colisión con un vehículo de motor

Puesto que este Proyecto de Fin de Carrera tiene como objetivo el estudio de las lesiones que sufre un peatón ante un atropello, se va a describir a continuación los aspectos más importantes de la Directiva Europea 2003/102/CE.

3.2.1.1 Directiva 2003/102/CE

El título completo es:

“Directiva 2003/102/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de noviembre de 2003 relativa a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerable de la vía pública antes y en caso de colisión con un vehículo de motor y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo”

Tiene por objeto reducir las lesiones de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública, víctimas de impactos de las superficies delanteras de los vehículos de hasta 8 plazas y de menos de 2,5 toneladas. Todo vehículo que no cumpla esta Directiva será rechazado para su homologación.

Las recomendaciones del Comité Europeo para la mejora de la seguridad de los vehículos (European Enchanced Vehicle-Safety Committee o EEVC) de junio de 1999, cuentan con un apoyo general ya que proponen requisitos respecto al comportamiento de las estructuras delanteras, de determinadas categorías de vehículos, con el fin de reducir su agresividad. La presente Directiva se basa en los ensayos y los valores límite recomendados por el EEVC. Todos son ensayos de laboratorio en los que se emplean los llamados impactadores, que son descritos en el subcapítulo 3.3.

Los ensayos que la directiva establece se dividen en dos fases:

Fase 1:

- ❖ Colisión pierna-parachoques. Se requiere la realización de uno de estos dos ensayos:
 - Colisión parte inferior de la pierna-parachoques: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40km/h. El ángulo máximo de flexión dinámica de la rodilla no deberá sobrepasar los 21°, el desplazamiento máximo de rotura dinámica de la rodilla no superará los 6 mm y la aceleración medida en el extremo superior de la tibia no excederá de 200g.
 - Colisión parte superior de la pierna-parachoques: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40km/h. La suma instantánea de las fuerzas de impacto por unidades de tiempo no excederá de 7.5kN y el momento flector del impactador de excederá los 510Nm.
- ❖ Colisión de niño o cabeza de adulto de pequeño tamaño con la parte superior del capó: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 35km/h utilizando un impactador de ensayo de 3.5kg. La norma de referencia en el ensayo de comportamiento de la cabeza (NCC) no excederá de 1000 en 2/3 de la zona de ensayo de capó, ni de 2000 en el caso del 1/3 restante de la zona de ensayo del capó.

Fase 2:

- ❖ Colisión pierna-parachoques. Se requiere la realización de uno de estos dos ensayos:
 - Colisión parte inferior de la pierna-parachoques: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40Km/h. El ángulo máximo de flexión dinámica de la rodilla no deberá sobrepasar los 15°, el desplazamiento máximo de rotura dinámica de la rodilla no superará los 6mm y la aceleración medida en el extremo superior de la tibia no excederá de 150g.
 - Colisión parte superior de la pierna-parachoques: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40km/h. la suma instantánea de las fuerzas de impacto por unidad de tiempo no excederá de 5kN y el momento flector del impactador no excederá los 300Nm.
- ❖ Colisión de niño-parte superior del capó: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40km/h utilizando un impactador de 2.5kg. La NCC no excederá de 1000 para la totalidad de la zona de ensayo del capó.
- ❖ Colisión parte superior de la pierna-borde delantero del capó. En ensayo se realiza a velocidades de impacto de hasta 40km/h. la suma instantánea de las fuerzas de impacto por unidad de tiempo no excederá de 5kN y el momento flector del impactador no excederá los 300Nm.
- ❖ Colisión cabeza de adulto con la parte superior del capó: el ensayo se realiza a velocidades de impacto de 40km/h utilizando un impactador de ensayo de 4.8kg. La NCC no excederá de 1000 para la totalidad de la zona de ensayo del capó.

En el momento de la aprobación de esta Directiva, la Fase 2 de los ensayos quedaba supeditada a la viabilidad técnica de alcanzar los objetivos marcados. Hasta el momento de la redacción de este Proyecto Fin de Carrera, varios estudios independientes y otros organismos responsables del transporte, han expresado la inviabilidad de la Fase 2 de la Directiva, tanto con respecto a los resultados de los ensayos como los plazos de tiempo. Antes esta situación se ha planteado la posibilidad de crear un Reglamento que sustituya a las Directivas 2003/102/CE y 2005/66/CE. Actualmente existe únicamente una Propuesta de Reglamento, que si se aprueba supondrá la derogación de las dos Directivas referentes a las medidas de protección para los peatones. La propuesta ya ha sido presentada y aprobada por el Comité Económico y Social Europeo, y se espera que en breve el Reglamento propuesto sea aprobado. [103]

Aún así, como ya se ha dicho al comienzo de este apartado, la actual Directiva vigente es la 2003/102/CE por lo que más adelante se señalarán todos los aspectos técnicos de los ensayos, los cuales están expuestos en las prescripciones técnicas de la misma Directiva. [102]

Antes de describir detalladamente los ensayos de la Directiva es necesario introducir el organismo que propuso estos ensayos, el EEVC, mencionado ya anteriormente.

3.2.1.1.1 EEVC

El EEVC (European Enchaned Vehicle-Safety Committe) o Comité europeo para la mejora de la seguridad de los vehículos, nació en 1970 como respuesta a la iniciativa del Departamento de Trasportes de Estados Unidos de crear un programa internacional de seguridad experimental de los vehículos [41]. Dicho comité está representado por varias naciones europeas entre las que se encuentra España.

El EEVC centra sus esfuerzos en la investigación de las diversas áreas relacionadas con la seguridad del automóvil. Aunque podría pensarse lo contrario, el EEVC no crea Normas o Regulaciones, sino que lleva a cabo sus investigaciones y a partir de éstas puede hacer propuestas a los organismos de regulación, como por ejemplo al Parlamento Europeo, siendo éstos los que toman la decisión de adoptar la propuesta o desarrollarla. El EEVC puede colaborar con el organismo de regulación si así se solicita, pero en ningún caso el EEVC llega a ser parte formal en el proceso de reglamentación.

El EEVC está dividido internamente en grupos de trabajo (WG). Cada uno de ellos está formado por diferentes expertos de los países representados en el EEVC y se encargan de un área de la seguridad del automóvil. Actualmente los grupos de trabajo son:

- WG12, Crash Test Dummies
- WG13, Impacto Lateral
- WG15, Compatibilidad e Impacto Frontal
- WG17, Peatones
- WG18, Seguridad Infantil
- WG19, Interacción Primaria y Secundaria
- WG20, Impacto Trasero
- WG21, Estudio de Accidentes
- WG22, Ensayos Virtuales

A continuación se hablará en más detalle del EEVC/WG17, pues es el grupo de trabajo que se encarga de estudiar la seguridad que presentan los vehículos hacia los peatones ante un atropello, tema del que trata este Proyecto de Fin de Carrera.

Fue en 1987 cuando se creó un nuevo grupo de trabajo, EEVC/WG10, después de que se le solicitara al EEVC una nueva investigación que determinara los métodos de ensayo y los criterios normativos de aceptación para la protección de los peatones en relación a la configuración del frontal de los vehículos en caso de atropello.

Desde 1989 a 1991 se realizaron las investigaciones quedando resumidas en diferentes informes técnicos. Estos estudios se llevaron a cabo por un consorcio europeo que actuaba bajo contrato de la Comisión de las Comunidades Europeas y el auspicio del EEVC/WG10. El consorcio consistió en profesionales del sector pertenecientes a diferentes organismos como BAST, INRETS, LPB/APR, TNO y el TRL.

Finalmente, en 1994, el EEVC/WG10 fue disuelto y su informe final fue modificado mejorando los métodos propuestos ante los tres mecanismos más importantes de lesión, como son:

- ❖ Impacto de la zona inferior de la extremidad inferior (pierna y articulación de la rodilla) contra el paragolpes (Legform Impactor).
- ❖ Impacto de la zona superior de la extremidad inferior (muslo y cadera) contra el borde anterior del capó (Upper Legform Impactor).
- ❖ Impacto de la cabeza contra la superficie del capó (Headform Impactor child/adult).

Años más tarde, en 1997, el EEVC creó un nuevo grupo de trabajo, denominado EEVC/WG17, el cual se encargó de realizar una nueva investigación apoyándose en los estudios realizados por su grupo de trabajo predecesor, el EEVC/WG10.

El EEVC/WG/17 tenía como objetivo los siguientes dos puntos:

- ❖ La revisión de los métodos de ensayo propuestos anteriormente por el EEVC/WG10 con objeto de proponer los nuevos ajustes posibles sustentados en los nuevos datos recopilados a partir de bases estadísticas de accidentes reales, estudios biomecánicos y resultados de nuevos ensayos.
- ❖ Preparar la contribución del EEVC, en seguridad peatonal, con el Grupo de Trabajo del IHRA.

Las actividades de EEVC/WG17 concluyeron a finales del año 1998, y fueron posteriormente ampliadas a finales del año 2002, siendo divulgados sus resultados a la Comunidad Europea. Las mejoras propuestas se referían a los métodos de ensayo, a las definiciones, a los medios técnicos y a los requisitos y criterios de normalización.

Como se dijo anteriormente, el EEVC no crea las Normas ni Regulaciones sino que propone a los organismos sus investigaciones. Claro ejemplo es que EEVC/WG17 propuso sus estudios sobre la seguridad para los peatones y han sido adoptados y recogidos bajo la Directiva Europea 2003/102/CE. [58]

3.2.1.1.2 PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE LA DIRECTIVA 2003/102/CE

Las áreas donde han de realizarse los impactos en los diferentes ensayos fueron definidas por diversos parámetros establecidos por el EEVC/GW10 (zona exterior – izquierda, zona central y zona exterior – derecha). Posteriormente, el EEVC/GW17 introdujo nuevos parámetros para identificar las tres áreas con la finalidad de establecer elementos de análisis y criterios mejor adaptados a la solución de las diferentes geometrías frontales de los vehículos actuales y a sus futuras líneas constructivas.

El contenido de este apartado ha sido extraído en gran medida de la siguiente reseña bibliográfica. [91]

3.2.1.1.2.1 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS.

Además de los parámetros definidos en el EEVC/WG17 en las zonas del parachoques y capó hay que sumar nuevos parámetros sobre la zona del parabrisas debido a la Directiva 2003/102/CE. Estos parámetros corresponden a dos ensayos que no se consideraron anteriormente: Ensayo de impacto de la cabeza niño/adulto pequeño contra la superficie superior del capó y Ensayo de impacto de la cabeza del adulto contra el parabrisas.

1. Paragolpes: estructura inferior delantera externa del vehículo que incluye todas las estructuras destinadas a proteger el vehículo en caso de colisión frontal a baja velocidad, así como los eventuales accesorios puedan contener. Los parámetros que definen el paragolpes serán los ángulos y las líneas de referencia definidas como:

- ❖ Línea de referencia superior del paragolpes: extremo superior de los puntos significativos de contacto entre el paragolpes y un peatón, definido como el trazado geométrico que forman los puntos superiores de contacto entre una regla de 700 mm de longitud y el paragolpes, cuando la regla, mantenida en paralelo al plano vertical longitudinal del vehículo e inclinada 20° hacia atrás, pasa por la parte delantera del vehículo manteniéndose en contacto con el suelo y con la superficie del paragolpes.

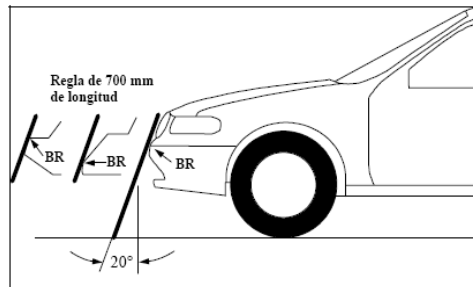


Figura 3.1 - Determinación de la línea de referencia superior del paragolpes delantero.

- ❖ Línea de referencia inferior del paragolpes: extremo inferior respecto a los puntos significativos de contacto entre el paragolpes y un peatón, definida como el trazo geométrico que forman los puntos inferiores de contacto entre una regla de 700 mm de longitud y el paragolpes cuando la regla, mantenida en paralelo al plano vertical longitudinal del vehículo e inclinada 25° hacia delante, pasa por la parte anterior del vehículo manteniéndose en contacto con el suelo y con la superficie del paragolpes.

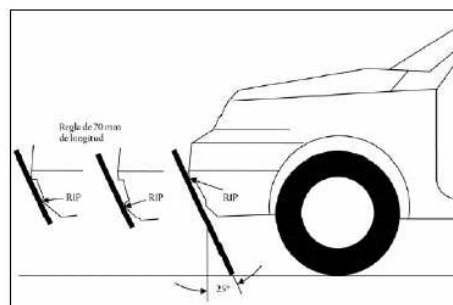


Figura 3.2 - Determinación de la línea de referencia inferior del paragolpes delantero.

- ❖ Altura superior del paragolpes: definida por la distancia vertical entre el suelo y la línea de referencia superior del paragolpes con el vehículo en disposición normal de circulación.
- ❖ Altura inferior del paragolpes: distancia vertical entre el suelo y la línea de referencia inferior del paragolpes con el vehículo en disposición normal de circulación.
- ❖ Ángulo del paragolpes: punto de contacto del vehículo con un plano vertical que forma un ángulo de 60° con el plano vertical longitudinal del vehículo y es tangencial a la superficie exterior del paragolpes.

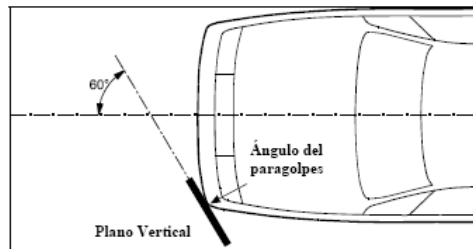


Figura 3.3 - Determinación del ángulo del paragolpes delantero.

- ❖ Tercio del paragolpes: trazo geométrico comprendido entre los ángulos del paragolpes, medido con una cinta métrica flexible que recorra el contorno exterior del paragolpes, dividido en tres partes iguales.
- ❖ Saliente del paragolpes: distancia horizontal entre la línea de referencia (superior) del paragolpes y la línea de referencia del borde delantero del capó.

2. Capó: incluye la superficie superior de la totalidad de las estructuras exteriores excepto el parabrisas, los montantes delanteros (pilar-A) y las estructuras situadas detrás de los mismos, por lo que incluye el capó, las aletas, el salpicadero, las varillas de los limpiaparabrisas y el marco inferior del parabrisas. Los parámetros en altura y anchura del capó serán los ángulos y las líneas de referencia definidas como:

- ❖ Wrap Around Distance ó Distancia Perimétrica: trazo geométrico descrito en la superficie superior delantera por el extremo de una cinta métrica flexible de 1.000 mm colocada en un plano vertical longitudinal del vehículo de manera que pase por la parte anterior del capó y el paragolpes. La cinta métrica se mantendrá tensa durante la operación, manteniendo un extremo en contacto con el suelo en la vertical de la cara anterior del paragolpes y el otro extremo en contacto con la superficie superior anterior. El vehículo deberá encontrarse en disposición normal de circulación. Para describir distancias del WAD de 1.500 y 2.100 mm, se aplicarán procedimientos análogos, utilizando cintas métricas de longitud adecuada.

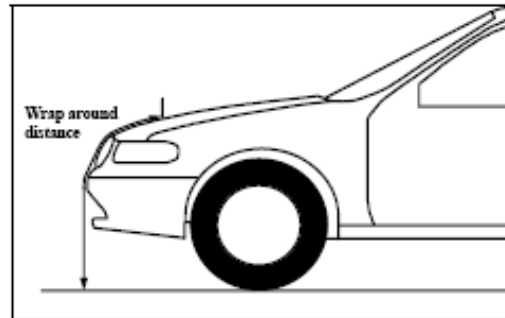


Figura 3.4 - Determinación del WAD ó Distancia Perimétrica del cuerpo del peatón sobre el frontal.

- ❖ Parte superior del capó: zona comprendida entre la línea de referencia del borde anterior del capó, las líneas de referencia laterales del capó y la línea de referencia posterior del capó.
- ❖ Borde anterior del capó: estructura superior anterior externa que abarca el capó, las aletas, las partes superiores y laterales del marco de los faros y cualquier otro accesorio acoplable. La línea de referencia de la posición del borde anterior del capó irá definida por su altura respecto al suelo y por la distancia horizontal que la separa del paragolpes (saliente del paragolpes).
- ❖ Línea de referencia del borde anterior del capó: trazo geométrico que forman los puntos de contacto entre una regla de 1000mm de longitud y la superficie anterior del capó cuando la regla, mantenida en paralelo al plano vertical longitudinal del vehículo e inclinada 50° hacia atrás y con el extremo inferior a 600 mm del suelo, pasa por el borde anterior del capó manteniéndose en contacto con él. En los vehículos cuya parte superior del capó tenga una inclinación global de 50°, de forma que la regla esté en contacto continuo o en contacto con múltiples puntos en lugar de presentar un punto de contacto único, la línea de referencia será determinada con la regla inclinada 40° hacia atrás. En los vehículos en los que el primer contacto se produzca con el extremo inferior de la regla, se tomará ese contacto como línea de referencia del borde anterior del capó, en esa posición lateral. En los vehículos en los que el primer contacto se produzca con el extremo superior de la regla, se tomará como línea de referencia del borde anterior del capó en esa posición lateral el trazo geométrico de la distancia perimétrica de 1.000mm (WAD). El borde superior del paragolpes se considerará también borde anterior del capó cuando, al realizar el procedimiento descrito, existe contacto entre él y la regla.

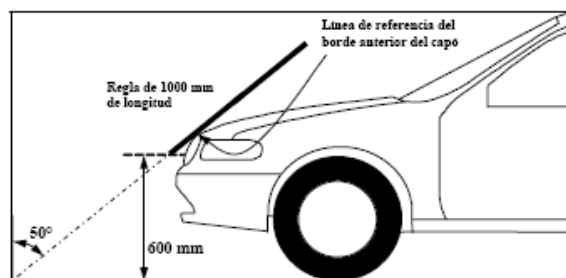


Figura 3.5 - Determinación de la línea de referencia del borde anterior del capó

- ❖ Altura del borde anterior del capó: definida por la distancia vertical entre el suelo y la línea de referencia del borde anterior del capó con el vehículo en disposición normal de circulación.
- ❖ Línea de referencia lateral del capó: trazo geométrico que forman los puntos de contacto superiores entre una regla de 700 mm de longitud y el lateral del capó, cuando la regla, mantenida en paralelo al plano vertical lateral del vehículo e inclinada 45° hacia la parte interior del vehículo, pasa por el lado de la superficie superior anterior y mantenida en contacto con la superficie de la carrocería.

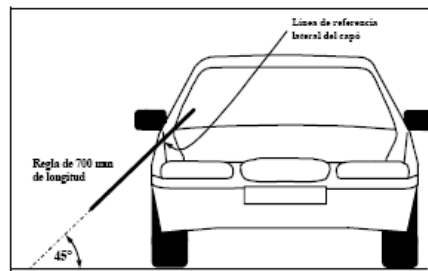


Figura 3.6 - Determinación de la línea de referencia lateral del capó.

- ❖ Punto de referencia angular: definido por el punto de intersección entre la línea de referencia del borde anterior del capó y la línea de referencia lateral del capó.

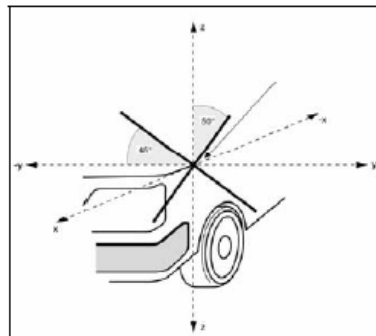


Figura 3.7 - Determinación del punto de referencia angular, punto de intersección entre la línea de referencia del borde anterior del capó y la línea de referencia lateral del capó.

- ❖ Tercio del borde anterior del capó: determinado por el trazo geométrico comprendido entre los puntos de referencia angulares medido con una cinta métrica flexible que recorra el contorno exterior del borde anterior del capó y dividido en tres partes iguales.
- ❖ Línea de referencia posterior del capó: trazo geométrico del punto de contacto posterior entre una esfera y la superficie superior anterior, cuando la esfera es colocada en la superficie superior anterior en contacto con el parabrisas. Para realizar esta operación se retirarán las escobillas y las varillas de los limpiaparabrisas. En los ensayos de impacto de cabeza niño - área superior de capó, el diámetro de la esfera será de 165 mm. En los ensayos de impacto de cabeza adulto - área superior de capó, el diámetro de la esfera será de 165 mm si el marco inferior del parabrisas en la línea central del vehículo se encuentra a una distancia perimétrica (WAD) de 1.500 mm o más del suelo,

y de 130 mm si la distancia perimétrica (WAD) es inferior a 1.500 mm. Si se encuentra a una distancia perimétrica (WAD) superior a 2.100 mm del suelo, la línea de referencia posterior del capó se define por el trazo geométrico de la distancia perimétrica (WAD) de 2.100 mm. Si la línea de referencia posterior del capó y las líneas de referencia laterales del capó no se cruzan, se modificará la primera de acuerdo con el procedimiento especificado en la delimitación de la línea de referencia posterior del capó y línea de referencia lateral del capó.

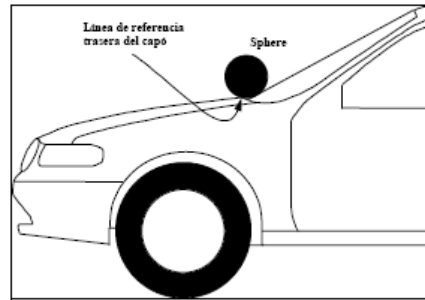


Figura 3.8 - Determinación de la línea de referencia posterior del capó.

- ❖ Tercio de la parte superior del capó: trazo geométrico comprendido entre las líneas de referencia laterales del capó, medido con una cinta métrica flexible que recorra el contorno exterior de la parte superior del capó y dividido en tres partes iguales.
- ❖ Línea de referencia posterior del capó y línea de referencia lateral del capó: si la línea de referencia posterior del capó y la línea de referencia lateral del capó no se cruzan, debería ampliarse o modificarse la primera por medio de una plantilla semicircular de un radio de 100 mm. La plantilla debería estar constituida de una fina chapa de material flexible que pueda adoptar fácilmente una curvatura simple en cualquier dirección. Preferentemente, la plantilla no deberá adoptar curvaturas dobles o complejas que puedan dar lugar a arrugas. El material recomendado es una fina chapa de plástico revestida de espuma para que la plantilla pueda adherirse a la superficie del vehículo. Con la plantilla extendida en una superficie plana, se determinarán en la misma cuatro puntos, A, B, C y D para enlazar las líneas de referencia posterior y lateral del capó.

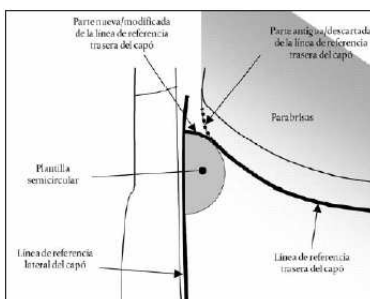


Figura 3.9 - Extensión de la línea de referencia posterior del capó para que enlace con la línea de referencia lateral del capó siguiendo la circunferencia de la plantilla (vista cenital del ángulo posterior del capó)

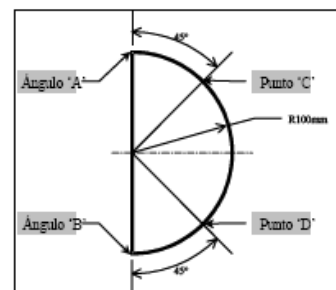


Figura 3.10 - Determinación de la plantilla e indicación de los puntos empleados para enlazar las líneas de referencia posterior y lateral del capó

3. Parabrisas: cristal delantero del vehículo que cumple todos los requisitos pertinentes del anexo I de la Directiva 77/649/CEE:

- ❖ Línea de referencia posterior del parabrisas: trazo geométrico del punto de contacto delantero en una esfera y el parabrisas cuando la esfera, de 165 mm de diámetro, es colocada en contacto simultáneo con el marco superior del parabrisas, incluida cualquier franja, y el parabrisas.

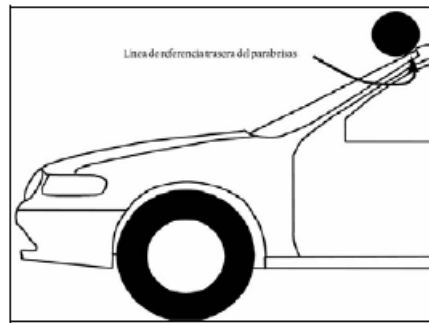


Figura 3.11 - Determinación de la línea de referencia posterior del parabrisas

3.2.1.1.2.2 ENSAYOS

Condiciones iniciales

Todos los dispositivos destinados a proteger a los peatones deberán estar correctamente activados antes de ser realizado el ensayo correspondiente y/o actuar funcionalmente durante el mismo, siendo responsabilidad del fabricante o solicitante de la homologación demostrar que los dispositivos actúan de la forma prevista en caso de atropello de un peatón.

El vehículo, o el subsistema del vehículo que se vaya a ensayar, debe ser colocado según la disposición normal de circulación, de manera que represente un impacto real vehículo - peatón, cargado con dos ocupantes de 75 kg de peso cada uno, a una velocidad de impacto de 40 km/h.

A partir de la disposición normal de circulación del vehículo, son determinadas tres áreas de impacto sometidas a ensayo, más una opcional consistente en la simulación del impacto del muslo del peatón contra el paragolpes del vehículo, ensayo que no fue contemplado en el documento final del Grupo de Trabajo EEVC/WG10:

- Paragolpes delantero, para el ensayo de impacto de la pierna del peatón.
- Paragolpes delantero, para el ensayo de impacto del muslo del peatón (opcional).
- Borde superior del capó, para el ensayo de impacto del muslo del peatón.
- Superficie superior del capó, para el ensayo de impacto de la cabeza del peatón.

Localización de los impactos.

La anchura de cada zona de ensayo se divide en 3 subáreas iguales: la zona exterior - izquierda, la zona central y la zona exterior - derecha, y como mínimo se debe realizar el siguiente número de tests:

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 3.1 - Mínimo número de impactos requeridos para cada ensayo.

ENSAYO	ÁREA DE IMPACTO	SUBÁREAS DE IMPACTO			TOTAL
		EXT - IZDA	CENTRAL	EXT- DCHA	
Pierna	PARAGOLPES	1	1	1	3
Muslo	PARAGOLPES (OPCIONAL)	1	1	1	3
Muslo	BORDE ANTERIOR DE CAPÓ	1	1	1	3
Cabeza niño	SUPERFICIE CAPÓ NIÑO	3	3	3	9
Cabeza adulto	SUPERFICIE CAPÓ ADULTO	3	3	3	9
TOTAL		9	9	9	27

- ❖ Para el ensayo de impacto de la pierna, “legform”, deben ser ejecutados tres impactos sobre cada una de las piezas que componen el paragolpes del vehículo.
- ❖ Para el ensayo de impacto del muslo, “upper legform”, sobre el borde anterior del capo serán realizados tres impactos.
- ❖ Para el ensayo de impacto del muslo, “upper legform”, sobre el paragolpes se realizarán tres impactos.
- ❖ Un mínimo de nueve tests de impacto deben ser efectuados para el ensayo del “headform”, tanto para el ensayo del peatón niño como del adulto, divididos en tres tests de impacto para cada una de las tres subáreas que conforman la zona superior del capó, determinadas en el área de impacto anterior del capó (peatón niño) y en área de impacto posterior de éste en referencia al peatón adulto.

La localización del impacto debe ser tal que desarrolle la mayor probabilidad de generar una lesión con el objeto de determinar el máximo riesgo posible para los peatones. Esta posición debe ser especificada por las autoridades después de examinar el vehículo y los planos remitidos.

A continuación se ilustra de manera esquemática y concisa cada uno de los ensayos que se ha de realizar en un vehículo: [56] [75]

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Cabeza del niño	Se miden valores medios de aceleración en la cabeza.
Cabeza del adulto	Se miden valores medios de desaceleración en la cabeza.
Parte superior de la pierna del adulto	Se miden valores medios de los esfuerzos en la parte superior, inferior y media del fémur, así como los valores del esfuerzo de compresión también sobre el fémur.
Parte media de la pierna del adulto	Se miden valores medios de aceleración de la tibia, el desplazamiento lateral de la rodilla y el ángulo de giro o rotación de la misma.



Figura 3.12 - Esquema de los ensayos a realizar en un vehículo automóvil.

**3.2.1.1.2.2.1 ENSAYO DE IMPACTO DE LA PIERNA CONTRA EL PARAGOLPES DEL
VEHÍCULO (LEGFORM IMPACTOR).**

Sistema de propulsión.

El impactador antropomórfico simulador de la pierna del peatón se dispondrán en “vuelo libre” en el instante del impacto con el vehículo. Tras el choque, quedará en vuelo libre a una distancia del vehículo lo suficiente amplia como para no influir en los resultados del ensayo evitando otras posibles colisiones. El impactador deberá ser propulsado por aire, un resorte o un sistema hidráulico, o por cualquier otro medio que garantice los mismos resultados.

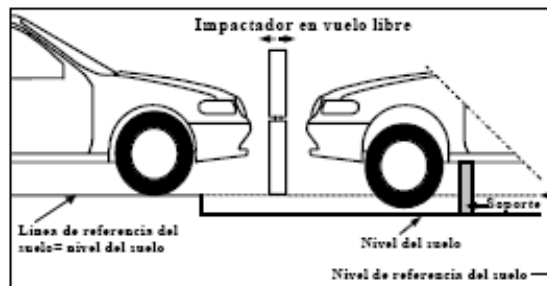


Figura 3.13 - Ensayo de la pierna - paragolpes con vehículo completo en disposición normal de circulación (izquierda) y con vehículo completo o subsistema montado sobre resortes (derecha).



Figura 3.14 - Bastidor antropomórfico simulador de pierna – muslo.

Desarrollo y procedimiento de ensayo.

Se realizará un mínimo de tres ensayos de impacto pierna-paragolpes, uno con cada tercio del paragolpes (tercio central y tercios exteriores), en las posiciones consideradas más susceptibles de causar lesión. Cuando existan variaciones de estructura en la zona evaluada, los ensayos se realizarán con distintos tipos de estructuras. Los puntos seleccionados de impacto en el ensayo estarán separados por una distancia mínima de 132 mm y se localizarán entre los ángulos definidos del paragolpes, como mínimo con una distancia de separación de 66 mm de ellos.

El ángulo de impacto, con un margen de tolerancia de $\pm 2^\circ$ en el instante del primer impacto, quedará localizado en el plano horizontal y paralelo al plano vertical longitudinal del vehículo. El eje del impactador será perpendicular al plano horizontal con un margen de tolerancia de $\pm 2^\circ$ en el plano lateral y longitudinal. Los planos horizontal, longitudinal y lateral serán ortogonales entre sí, como puede ser observado en la figura inferior.

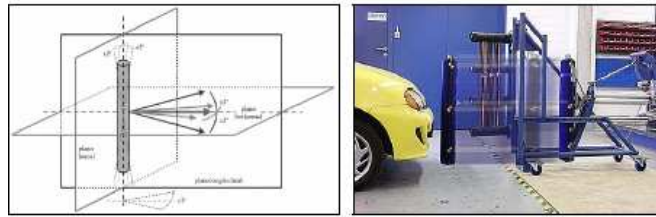


Figura 3.15 - Márgenes de tolerancia de los ángulos para el impactador simulador de la pierna en el instante del primer contacto

En el instante en que se produce el primer impacto contra el paragolpes, la base del impactador antropomórfico quedará a nivel de referencia del suelo, con un margen de tolerancia de ± 10 mm, considerando el efecto de la gravedad durante el período de vuelo libre del impactador al fijar la altura del sistema de propulsión, y sin la posibilidad de contactar con el suelo ni objeto alguno que no forme parte del vehículo.

En el momento del primer contacto, el impactador deberá disponer de la orientación prevista en su eje vertical de manera que la articulación de la rodilla reaccione correctamente, con un margen de tolerancia de $\pm 5^\circ$, instante en el que la línea central del impactador deberá quedar localizada con un margen de tolerancia de ± 10 mm respecto al punto de impacto.

La velocidad del impactador antropomórfico al golpear el paragolpes del vehículo será de $11'1 \pm 0'2$ m/s. Al calcular la velocidad de impacto a partir de las mediciones realizadas antes del primer contacto, deberá ser considerado el efecto de la gravedad.

Criterios y niveles de aceptación.

Se decidió como prioridad inicial evitar las fracturas óseas y la rotura del ligamento rotuliano como parte de los criterios de aceptación iniciales en las recomendaciones del EEVC/WG10.

Se consideró un valor de la aceleración de 150g para limitar la fuerza de impacto del paragolpes del vehículo sobre la tibia del peatón. El ángulo de flexión se asocia al momento de flexión, a nivel de la rodilla, y determina el riesgo de rotura de los ligamentos. El nivel de aceptación se basó en los resultados obtenidos, a partir de los resultados registrados en tests de impacto cadáver - vehículo, por "Cesari" [15] [16].

En el segundo informe del EEVC/WG10 se menciona un ángulo de 5° como el nivel de aceptación para la fractura de cizalladura, en base a fuerzas de impacto de 4 kN y desplazamiento lateral de 5–6 mm en cadáveres. Según las autopsias realizadas posteriormente fue observado que la ruptura del ligamento anterior cruzado (ACL) es la lesión típica asociada a los mecanismos de cizalladura. Se observó una elongación del ligamento de aproximadamente 25-30 mm, y una elongación en la rotura del 20%, lo que corresponde a un límite de 5-6 milímetros para el desplazamiento de cizalladura.

El EEVC/WG17 manifestó que los tests dinámicos ensayados con cadáveres demostraron un ángulo de flexión de la rodilla de 15° y una fuerza de cizalladura de 3 kN cuando fue generado el daño inicial. Puesto que el nivel de aceptación propuesto para la carga de cizalladura en el test de impacto era de 4 kN, registrado con un desplazamiento de 6 mm, puede concluirse que estos valores son similares, o

absolutamente próximos, a los niveles de aceptación propuestos anteriormente por el WG10. El EEVC/WG17 basó estos niveles en dos estudios que determinan la fuerza lateral de flexión lateral y de cizalladura de la rodilla:

- Por una parte los resultados de Ramet [105], a partir de pares de rodillas testadas en flexión lateral cuasiestática (sin aplicar fuerza axial), registraron que las “primeras lesiones macroscópicas” en la articulación de la rodilla son originadas cuando el ángulo de flexión es de $18^{\circ}9'$ y el momento de flexión es de 129 Nm. Comparando sus resultados con los estudios dinámicos dirigidos por Kajzer y Levine, concluyó que la “primera lesión macroscópica” en una prueba dinámica se produce cuando el ángulo de flexión ($11^{\circ}4'$) era perceptiblemente menor que el desarrollado en la flexión cuasiestática, pero prácticamente con análogo momento flector (134 Nm).

- El segundo informe citado por el EEVC/WG17 para la validación de los niveles de aceptación propuestos, consiste en la investigación dirigida por Kajzer sobre la articulación de la rodilla (con una carga axial de 400 N) sometida a cizalladura y flexión lateral a alta velocidad (40 km/h). Diez rodillas fueron testadas en cizalladura y diez rodillas en flexión. Las dos lesiones más comunes en las pruebas de cizalladura consistieron en fractura de fémur (40% en diáfisis o metáfisis), y fractura de la epífisis tibial (30%). Las dos lesiones más comunes para los tests de flexión fueron la avulsión del ligamento (20%) y fractura del fémur (70% en diáfisis o metáfisis).

Kajzer reprodujo estos tests de flexión y cizalladura con el impactador de legform del TRL, obteniendo un ángulo de flexión de 15° , muy próximo al ángulo de flexión registrado en los tests con cadáveres. Las pruebas de cizalladura se podían realizar solamente con una velocidad del impactador de 20 Km/h debido al desplazamiento de cizalladura máximo de 6 mm permitido por el legform desarrollado por el TRL.

El EEVC/WG10 y el EEVC/WG17 coinciden en determinar los niveles de aceptación del ensayo del legform, con una velocidad de impacto de 40 km/h, y un desplazamiento máximo de cizalladura para la articulación de la rodilla de 6 milímetros, con una fuerza de cizalladura máxima de 4 kN, y un ángulo de flexión máximo de 15° .

- Aceleración máxima de la tibia $\leq 150g$.

Una aceleración de la tibia de 150g indica un riesgo aproximado del 40% para una fractura de la zona inferior de la pierna (AIS2+). Es importante observar que para lesiones de la pierna y de la rodilla no solamente el nivel del AIS debe ser considerado, sino que también debe tenerse en cuenta un riesgo de inhabilidad del peatón a largo plazo.

**3.2.1.1.2.2.2 ENSAYO DE IMPACTO DE MUSLO CONTRA EL PARAGOLPES DEL
VEHÍCULO (UPPER LEGFORM IMPACTOR).**

Sistema de propulsión.

El impactador antropomórfico, simulador del muslo para el ensayo de impacto con el paragolpes del vehículo, se montará en el sistema de propulsión mediante una junta limitadora de la torsión que evite que el sistema de guía resulte dañado por la aplicación de cargas pesadas fuera de eje. El sistema de guía estará equipado de guías de baja fricción, insensibles a las cargas fuera de eje, que permitan al impactador moverse sólo en la dirección de impacto especificada cuando éste entre en contacto con el vehículo. Las guías deberán evitar movimientos en otras direcciones, incluida la rotación sobre cualquier eje.

Finalmente, el impactador antropomórfico podrá ser propulsado por aire, un resorte o un sistema hidráulico, o por cualquier otro medio que garantice los mismos resultados.



Figura 3.16 - Bastidor antropomórfico simulador del muslo (upper legform).

Desarrollo y procedimiento de ensayo.

Se realizará un mínimo de tres tests de impacto muslo-paragolpes, uno con cada tercio del paragolpes (tercio central y tercios exteriores), en las posiciones consideradas más susceptibles de causar lesión a los peatones. Cuando existan variaciones de estructura en la zona evaluada, los ensayos se realizarán con distintos tipos de estructuras. Los puntos de impacto seleccionados en el ensayo estarán separados por una distancia mínima de 150 mm y quedarán localizados entre los ángulos definidos del paragolpes, como mínimo con una distancia de separación de 75 mm de ellos.



Figura 3.17 - Ensayo de impacto muslo-paragolpes opcionalmente en los casos en los que la altura del paragolpes sea superior a los 500 mm

El ángulo de impacto será paralelo al eje longitudinal del vehículo, y el eje del simulador estará en posición vertical en el momento del primer contacto, presentando ambas indicaciones un margen de tolerancia de $\pm 2^\circ$. En el momento del primer contacto, la línea central del impactador deberá coincidir con un punto equidistante entre las líneas de referencia superior e inferior del paragolpes, con un margen de tolerancia de ± 10 mm, y lateralmente con el lugar de impacto elegido, también con un margen de tolerancia de ± 10 mm.

La velocidad del bastidor antropomórfico simulador del muslo al impactar contra el paragolpes será de $11'1 \pm 0'2$ m/s.

La masa total del impactador antropomórfico del muslo en el ensayo de impacto contra el paragolpes, incluyendo los elementos de propulsión y guía que formen parte del mismo durante el impacto, será de $9'5 \pm 0'1$ kg. La masa del impactador puede ajustarse en ± 1 kg, a condición de que sea modificada también la velocidad de impacto requerida aplicando la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{1170}{m}}$$

Siendo:

V: velocidad de impacto (m/s)

m: masa (Kg); Tolerancia en la precisión de la medición será inferior al 1%

Criterios y niveles de aceptación.

El EEVC/WG17 determina que para el ensayo de muslo-paragolpes, a una velocidad de impacto de $11'1$ m/s, la suma instantánea de las fuerzas de impacto no excederá los 5 kN y el momento de flexión en el bastidor antropomórfico simulador del muslo, en cualquiera de las tres posiciones de impacto registradas, no excederá de 300 Nm.

3.2.1.1.2.2.3 ENSAYO DE IMPACTO DE MUSLO CONTRA EL BORDE ANTERIOR DEL CAPÓ DEL VEHÍCULO (UPPER LEGFORM IMPACTOR).

Sistema de propulsión.

El impactador antropomórfico simulador del muslo del peatón, para el ensayo de impacto contra el borde anterior del capó, se montará en el sistema de propulsión mediante una junta limitadora de la torsión a fin de evitar que el sistema de guía resulte dañado por cargas pesadas fuera de eje. El sistema de guía estará equipado de guías de baja fricción, insensibles a las cargas fuera de eje, que permitan al impactador moverse sólo en la dirección de impacto especificada cuando éste entre en contacto con el vehículo. Las guías deberán evitar movimientos en otras direcciones, incluida la rotación sobre cualquier eje.

El impactador podrá ser impulsado por un sistema de propulsión de aire, de resorte o hidráulico, o por cualquier otro método que garantice los mismos resultados.

Desarrollo y procedimiento de ensayo.

Se realizará un mínimo de tres ensayos muslo-borde anterior del capó, uno por cada tercio del borde anterior del capó (tercio central y tercios exteriores), en las posiciones consideradas más susceptibles de causar lesión sobre un peatón. El punto de impacto de cada tercio será seleccionado, siempre que sea posible, de forma que la energía cinética de impacto requerida sea superior a 200J. Cuando existan variaciones de estructura en la zona evaluada, los ensayos se realizarán con diferentes tipos de estructuras. Los puntos de ensayo seleccionados estarán separados por una distancia mínima de 150 mm y se situarán entre los puntos de referencia angulares, como mínimo a 75 mm de ellos.

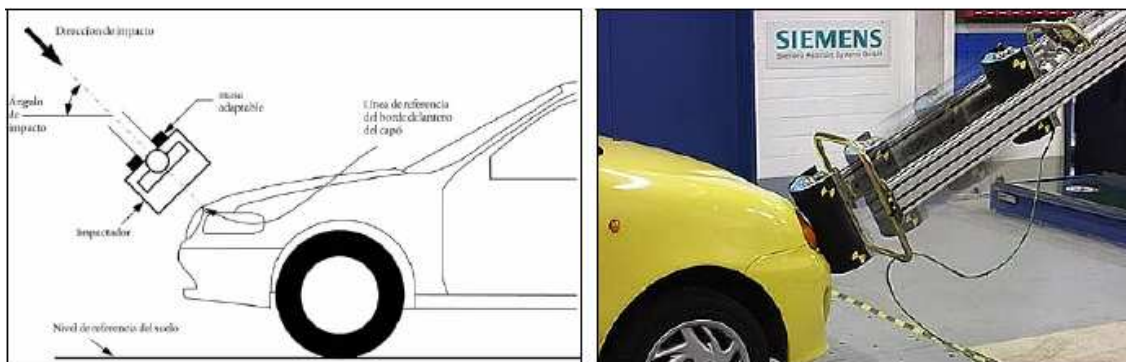


Figura 3.18 - Ensayo de impacto del muslo contra el borde anterior del capó (Upper legform).

El impactador será alineado de manera que la línea central del sistema de propulsión y el eje longitudinal del impactador coincidan en el plano vertical longitudinal de la sección del vehículo ensayado. El margen de tolerancia de estas indicaciones será de $\pm 2^\circ$. En el momento del primer contacto, la línea central del impactador deberá coincidir con la línea de referencia del borde anterior del capó y lateralmente con la localización de impacto seleccionado, ambos con un margen de tolerancia de ± 10 mm.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Los requisitos de ensayo relativos a la velocidad de impacto del bastidor antropomórfico son determinados en relación a la altura del borde anterior del capó y el saliente del paragolpes, según los criterios mostrados en la figura inferior.

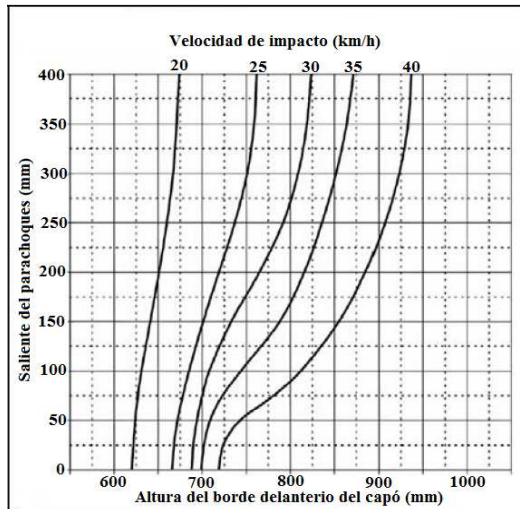


Gráfico 3.1 - Velocidad de ensayo "upper legform" en función de la geometría frontal del vehículo.

Los requisitos del ensayo relativos al ángulo de impacto del bastidor antropomórfico simulador del muslo (upper legform), son determinados en relación a la altura del borde anterior del capó y el saliente del paragolpes del vehículo.

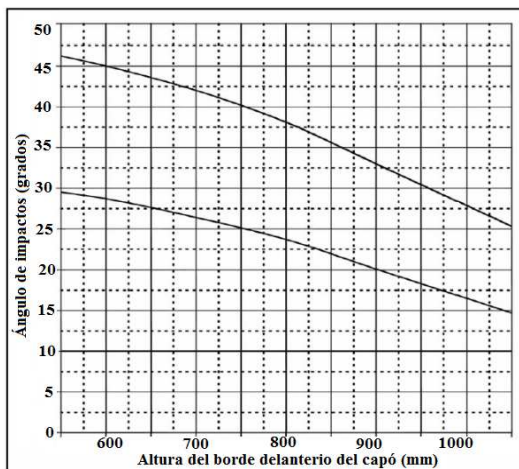


Gráfico 3.2 - Ángulo de ensayo "upper legform" en función de la geometría frontal del vehículo.

El margen de tolerancia de la velocidad y del ángulo de impacto será de $\pm 2\%$. Al calcular la velocidad de impacto, a partir de las mediciones realizadas antes del primer contacto, deberá ser considerado el efecto de la gravedad.

La masa total del bastidor antropomórfico simulador del muslo incluirá los elementos de propulsión y guía que formen parte del mismo durante el impacto, incluidos los pesos adicionales. La masa del impactador se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$E_{cinética} = E_{impacto} \rightarrow \frac{m_{upperLegform} \cdot V_{impacto}^2}{2} = E_{impacto}$$

$$m_{upperLegform} = \frac{2 \cdot E_{impacto}}{V_{impacto}^2}$$

Siendo:

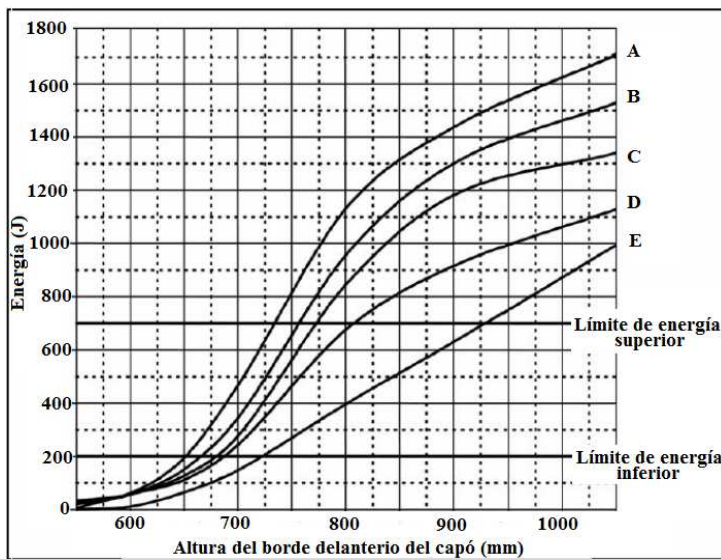
$m_{Upper Legform}$: masa del impactador antropométrico del muslo, en kilogramos (Kg)

$E_{impacto}$: energía de impacto, en Julios (J)

$V_{impacto}$: velocidad de impacto, en metros/segundo (m/s)

La masa del impactador podrá ser adaptada hasta en un 10 % respecto al valor calculado, a condición de que sea modificada proporcionalmente la velocidad de impacto requerida, aplicando la fórmula anterior, para mantener la misma energía cinética del impactador. Para obtener la masa del impactador calculada, podrán ser añadidos los pesos adicionales necesarios a la parte posterior del elemento posterior o a los componentes del sistema de guía que formen parte integrante del impactador en el momento del choque.

La velocidad requerida será el valor obtenido en la figura siguiente y la energía se obtendrá conforme a la figura 28 con referencia a los valores de la altura del borde delantero del capó y del saliente del paragolpes. La energía cinética disipada en el impacto será determinada según los parámetros de la geometría frontal del vehículo objeto de ensayo.



A = saliente del paragolpes de 50 mm

B = saliente del paragolpes de 100 mm

C = saliente del paragolpes de 150 mm

D = saliente del paragolpes de 250 mm

E = saliente del paragolpes de 350 mm

1. Interpolar verticalmente entre curvas.

2. Los salientes de paragolpes inferiores a 50 mm se asimilarán a salientes de 50 mm.

3. Los salientes del paragolpes superiores a 350 mm se asimilarán a salientes de 350 mm.

4. Toda altura del borde anterior del capó superior a 1.050 mm se asimilará a una altura de 1.050 mm.

5. Si es requerida una energía cinética superior a 700 J, efectuar el ensayo a 700 J.

6. Si es requerida una energía cinética igual o inferior a 200 J, no es necesario realizar ensayo.

Gráfico 3.3 - Energía cinética de ensayo "upper legform" en función de la geometría frontal del vehículo.

El margen de tolerancia en la precisión de la medición de la masa del impactador deberá ser inferior a 1 %, y si el valor medido difiere del requerido se compensará ajustando la velocidad de impacto.

Criterios y niveles de aceptación.

El EEVC/WG17 consideró nuevas datos a partir de los resultados registrados en investigaciones de accidentes reales, tests empíricos de impacto dummy-vehículo,

cadáveres, ensayos y simulaciones matemáticas, con respecto al impactador antropomórfico “upper legform” por tres razones fundamentales:

- ❖ Los niveles de aceptación propuestos por el WG10 todavía debían ser confirmados.
- ❖ El impactador fue modificado y validado conforme a las nuevas investigaciones.
- ❖ Parecía existir un desequilibrio entre los requisitos actuales del test de impacto y el riesgo de lesión en accidentes reales con vehículos modernos, dado que si bien no superan actualmente los principales requisitos del ensayo de impacto del muslo-borde anterior del capó, por otra parte los actuales datos estadísticos demostraron la existencia de escasas lesiones femorales en los peatones implicados en los accidentes.

Schreiber [113] en tests de flexión lateral, estáticos y dinámicos, en la zona inferior de la pierna registró un coeficiente dinámico y estático de 1'69 para el momento de flexión de la tibia. Si este coeficiente es aplicado al momento de flexión estático del fémur, 310 Nm para el sexo masculino, lo que se obtiene es la flexión lateral dinámica que podría soportar la tibia, 524 Nm. La longitud media de los fémures masculinos era de 455 milímetros, mientras que la longitud de funcionamiento del impactador del upper legform del EEVC es solamente de 310 milímetros. El momento de flexión corregido registrado por el impactador sería entonces de 357 Nm.

De los resultados obtenidos por Lawrence al repetir algunas reconstrucciones, realizadas anteriormente, así como otras nuevas adicionales empleando la última versión del bastidor antropomórfico simulador de muslo, además de otras realizadas posteriormente de casos seleccionados de la base de datos de Hannover, y los resultados obtenidos comparados con los determinados por Matsui, finalmente registro entre un 12-1% para el riesgo de fractura-fuerza y entre el 42-5% el riesgo de fractura-momento de flexión. A partir de estos nuevos resultados, el EEVC/WG17 decidió incrementar los niveles de aceptación, determinados anteriormente por el EEVC/WG10, como el valor medio de los resultados registrados por Lawrence y Matsui, considerando que este incremento en los niveles de aceptación contribuirá a un mayor equilibrio entre los resultados de los tests y las lesiones reales generadas en los accidentes. Los valores medios de ambos estudios, para una probabilidad de riesgo de lesión del 20% para una gravedad lesiva AIS2+, son del 4'9 kN y 294 Nm, que tras su redondeo determinan los niveles de aceptación para el ensayo del “upper legform”: [71] [72] [82] [110]

- Máxima fuerza de fémur $\leq 5'0$ kN
- Momento de flexión máximo de fémur ≤ 300 Nm.

**3.2.1.1.2.2.4 ENSAYO DE IMPACTO DE LA CABEZA CONTRA LA SUPERFICIE
SUPERIOR DEL CAPÓ (HEADFORM IMPACTOR).**

Sistema de propulsión.

En los ensayos con la parte superior del capó, en el momento del choque los impactadores simuladores de cabeza se encontrarán en situación de “vuelo libre”. Tras la colisiones quedarán en vuelo libre a una distancia del vehículo suficiente para que los resultados del ensayo no se vean influidos por el contacto de los impactadores, tras rebotar, con el sistema de propulsión.

El impactador podrá ser impulsado con un sistema de propulsión de aire, de resorte o hidráulico, o por cualquier otro método que garantice los mismos resultados.

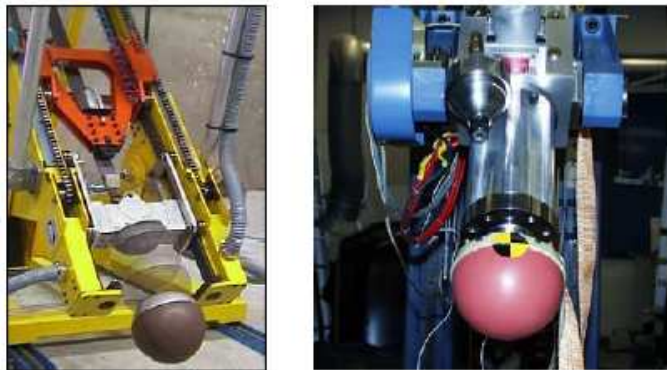


Figura 3.19 - Impactador para ensayo sobre la superficie del capó del vehículo

Desarrollo y procedimiento de ensayo.

La prueba de impacto de la cabeza analiza las lesiones sufridas por el peatón sobre la superficie superior del capó, determinando la tercera fase de un accidente real, tras el impacto inicial del paragolpes con la pierna-rodilla y el muslo-cadera con el borde anterior del frontal del vehículo. Consiste en un impacto a una velocidad de 40 km/h, sobre la superficie superior del capó del vehículo, a partir de dos impactadores antropomórficos simulando la cabeza de un peatón niño y un peatón adulto.

Los ensayos con el impactador son realizados sobre la parte superior del capó, determinado por las líneas de referencia descritas (“línea de referencia del borde anterior del capó”, “línea de referencia lateral del capó”, “línea de referencia posterior del capó”).



Figura 3.20 - Ensayo de impacto del bastidor antropomórfico simulador de la cabeza de peatón sobre el capó.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Cada punto de impacto seleccionado para el ensayo con el simulador de la cabeza de niño/adulto deberá quedar localizado a una distancia mínima de 130 mm por detrás de la “línea de referencia del borde anterior del capó”. La delimitación de la zona de impacto de la parte superior del capó, así como de la “zona A” y la “zona B” de la parte superior del capó, se basará en un dibujo del constructor visto desde un plano aéreo horizontal paralelo al plano cero horizontal del vehículo. El constructor indicará un número suficiente de coordenadas “x” e “y” para delimitar las áreas en el vehículo, teniendo en cuenta también el perfil externo del vehículo en la dirección “z”. La “zona A” y la “zona B” de la parte superior del capó pueden consistir en varias partes, algunas de ellas sin delimitar

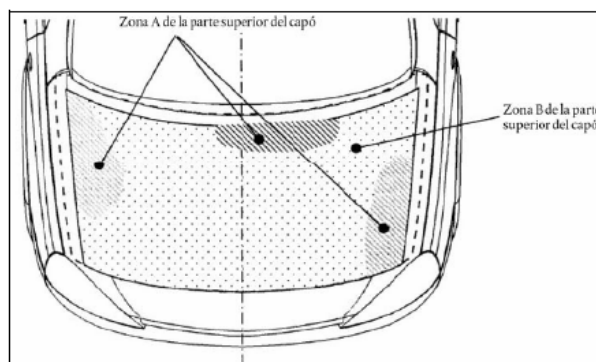


Figura 3.21 - Delimitación de la “Zona A” y de la “Zona B” en la superficie superior del capó.

Se realizarán al menos un mínimo de tres ensayos en cada tercio de la parte superior del capó (exterior izquierda, central y exterior derecha) obteniendo un mínimo de nueve ensayos por cada impactador, niño y adulto. Las zonas escogidas en cada una de los tercios serán las más susceptibles de causar lesión. Cuando existan variaciones de estructura en la zona evaluada, los ensayos se realizarán con distintos tipos de estructura.

Tabla 3.2 - Mínimo número de impactos requeridos para el impacto de cabeza

Áreas de impacto	Sub-áreas de impacto			TOTAL
	Exterior-izquierda	Central	Exterior-derecha	
Superficie capó niño	3	3	3	9
Superficie capó adulto	3	3	3	9
TOTAL	6	6	6	18

Ensayo de impacto de la cabeza del niño sobre la superficie del capó.

Los ensayos con la sección anterior de la parte superior del capó se realizarán con un impactador simulador de cabeza del niño, en la que los puntos seleccionados para el ensayo deberán estar separados por una distancia mínima de 130 mm, y quedar localizados a un mínimo de 65 mm de las “líneas de referencia laterales” establecidas, y a un mínimo de 65 mm por delante de la “línea de referencia posterior del capó”.

En el ensayo de impacto sobre la sección anterior del capó, los puntos del primer contacto estarán localizados entre los límites definidos por un WAD comprendido entre 1000-1500 mm, ó por la “línea de referencia posterior del capó”. El punto de primer contacto del impactador deberá quedar localizado dentro de un margen de tolerancia de ± 10 mm respecto al punto de impacto seleccionado.

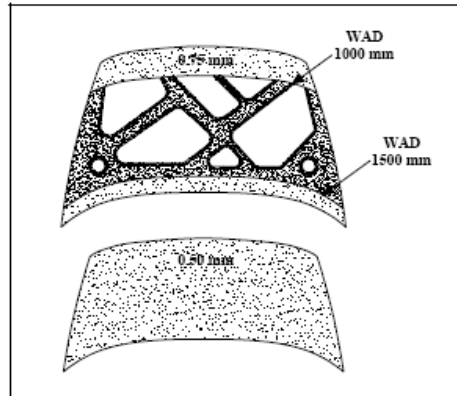


Figura 3.22 - Ejemplo del área de impacto de cabeza del peatón niño sobre la superficie de un capó.

El ángulo del impacto será la correspondiente al plano vertical longitudinal de la sección del vehículo ensayado. El margen de tolerancia de esta dirección será de $\pm 2^\circ$. La dirección de impacto de los ensayos realizados con la parte superior del capó será descendente y hacia la parte posterior, como si el vehículo se encontrase sobre el suelo. En los ensayos con impactador simulador de la cabeza de niño, el ángulo de impacto será de $50^\circ \pm 2^\circ$ respecto al nivel de referencia del suelo.

Ensayo de impacto de la cabeza del adulto sobre la superficie del capó.

Los ensayos sobre la sección posterior de la parte superior del capó se realizarán con el bastidor antropomórfico simulador de cabeza del peatón adulto. Los puntos seleccionados para el ensayo deberán estar separados por una distancia mínima de 165 mm, y situarse a un mínimo de 82'5 mm respecto a las "líneas de referencia laterales" establecidas y un mínimo de 82'5 mm por delante de la "línea de referencia posterior del capó". Los puntos de ensayo deberán quedar localizados de manera que el impactador no golpee primero de refilón la parte superior del capó y rebote fuertemente contra el parabrisas o un montante anterior (pilar-A).

En los ensayos de impacto sobre la sección anterior del capó, los puntos del primer contacto estarán situados entre los límites definidos por un WAD comprendido entre 1500-2100 mm, ó por la "línea de referencia trasera del capó". El punto de primer contacto del impactador deberá quedar inscrito dentro de un margen de tolerancia de ± 10 mm respecto al punto de impacto elegido.

El ángulo del impacto corresponderá al plano vertical longitudinal de la sección del vehículo ensayado. El margen de tolerancia de esta dirección será de $\pm 2^\circ$. La dirección de impacto de los ensayos realizados sobre la parte superior del capó será descendente y hacia la parte posterior, como si el vehículo se encontrase sobre el suelo. En los ensayos con impactador simulador de cabeza de adulto, el ángulo de impacto será de $65^\circ \pm 2^\circ$ respecto al nivel de referencia del suelo. Al ser calculada la velocidad de impacto, a partir de las mediciones realizadas antes del primer contacto, deberá ser considerado el efecto de la gravedad.

La velocidad de impacto del impactador, tanto del adulto como del niño, al golpear la parte superior del capó será de $11'1 \pm 0'2$ m/s. Al calcular la velocidad de impacto a partir de las mediciones realizadas antes del primer contacto, deberá considerarse el efecto de la fuerza de la gravedad

Criterios y niveles de aceptación.

A partir de ensayos con cadáveres y simulaciones matemáticas ha podido ser constatado que la velocidad de impacto de la cabeza sobre la superficie del capó puede ser, aproximadamente, un 20% superior a la velocidad de impacto del vehículo, lo que significa que el headform a una velocidad del impacto de 48 km/h correspondería a la simulación de un impacto a una velocidad de circulación del vehículo de 40 km/h. El EEVC/WG10 y el EEVC/WG17 prescriben una velocidad de impacto de 40 km/h para el “headform” debido a que:

- ❖ Los tests realizados con el “headform” sobre la superficie del capó, con ausencia de los componentes internos, demuestran gran dificultad de alcanzar un valor HIC menor a 1000 para velocidades del impacto del headform superiores de 45 km/h. Aún así, a la hora de diseñar el capó en un vehículo se pretende que entre éste y el resto de componentes del motor haya un margen con el objetivo de que al colisionar la cabeza de un peatón con la chapa no impacte también con el motor, mucho más sólido, consiguiendo que el impacto sea menor.

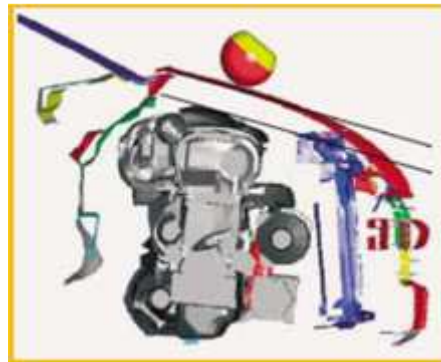


Figura 3.23 - Diseño del capó del automóvil. [75]

- ❖ Existe una tendencia a diseñar los vehículos con un capó más “vertical”, registrando velocidades de impacto de cabeza similares a la velocidad de impacto del vehículo, siendo ésta una de las razones en la prescripción de los ángulos de impacto de cabeza propuestos.

Las aceleraciones angulares de la cabeza han sido analizadas por el EEVC/WG10 y el EEVC/WG17, concluyendo que la escasez de datos e investigaciones al respecto no permiten determinar un nivel de aceptación, y por esta razón son consideradas las aceleraciones lineales registradas.

El nivel de aceptación propuesto queda determinado por el “Criterio de Comportamiento de la Cabeza” (Head Performance Criteria - HPC), con un valor que no exceda de 1000, a partir de las investigaciones dirigidas por Laughlin, aunque es mencionado en la literatura que un valor de HIC 1000, cuando es empleado el sistema de impacto de cabeza propuesto por la NHTSA, es verificado como un indicador exacto del umbral de lesión grave a partir de reconstrucciones experimentales y accidentes reales que implicaban peatones adultos y niños.

La NHTSA ha evaluado recientemente diferentes técnicas para desarrollar los valores simulados de la protección del niño a partir de varias técnicas, incluyendo el escalamiento estadístico de los datos registrados en el adulto y reconstrucciones de accidentes, concluyendo que ningún método o sistema de datos es claramente determinado como la mejor opción, porque los datos biomecánicos reales son escasos y de aplicación limitada. Finalmente, es recomendado por la NHTSA un valor de HPC 1000 para un niño 6 años, dado que este valor ha sido un límite establecido para los dummies que representan las tallas de un adulto y un niño, demostrando ser un límite eficaz a partir del cual aparecería una lesión grave.

Los impactadores de cabeza (headform) se equipan para registrar la aceleración triaxial sobre los tres ejes perpendiculares. El criterio de lesión propuesto por el EEVC consiste en la determinación de que el “Criterio de Comportamiento de la Cabeza” (Head Performance Criteria - HPC), no debe exceder un valor de 1000, siendo determinado con la siguiente expresión:

$$HPC = \max \left[\left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right] \right]^{2.5} \times (t_2 - t_1)$$
$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Siendo “t2” y “t1” el intervalo temporal en segundos, durante la aceleración del impulso, y la aceleración como múltiplo de la aceleración de la gravedad, adoptándose como umbral de tolerancia para el impacto de cabeza un valor de 1000; es decir:

- Cabeza del adulto: $HPC_{\text{máx}} = 1000$
- Cabeza del niño: $HPC_{\text{máx}} = 1000$

3.2.1.1.2.2.5 ENSAYO DE IMPACTO DE LA CABEZA DEL ADULTO CONTRA EL PARABRISAS (HEADFORM IMPACTOR).

Sistema de propulsión.

En los ensayos con el parabrisas, en el momento del impacto el impactador simulador de cabeza se encontrará en situación de “vuelo libre”, quedando a una distancia del vehículo suficiente para que los resultados del ensayo no se vean influidos por el contacto del impactador, tras rebotar, con el sistema de propulsión. El impactador podrá ser impulsado con un sistema de propulsión de aire, de resorte o hidráulico, o por cualquier otro método que garantice los mismos resultados.

Desarrollo y procedimiento de ensayo.

Se realizará un mínimo de cinco ensayos con el impactador antropomórfico simulador de la cabeza en las posiciones consideradas más susceptibles de causar lesiones contra el parabrisas. Los puntos seleccionados para el ensayo del impactador contra el parabrisas deberán estar separados por una distancia mínima de 165 mm, y localizados a un mínimo de 82'5 mm de los límites del parabrisas, y un mínimo de 82'5 mm por delante de la “línea de referencia posterior del parabrisas”.

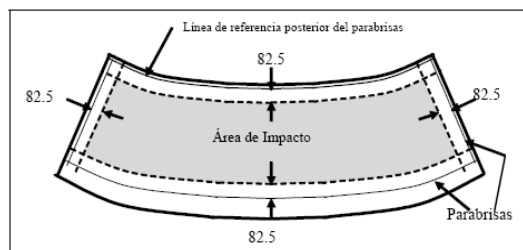


Figura 3.24 - Delimitación del área de ensayo sobre el parabrisas del vehículo.

Estas distancias mínimas se medirán con una cinta métrica flexible tensada a lo largo de la superficie exterior del perfil frontal del vehículo. Si son seleccionadas varias posiciones de ensayo como susceptibles de causar lesiones y la zona de ensayo restante es demasiado pequeña como para seleccionar otra posición de ensayo, respetando la separación mínima, el número de ensayos podrá ser inferior a cinco.

La dirección del impacto será la correspondiente al plano vertical longitudinal de la sección del vehículo ensayado, con un margen de tolerancia de $\pm 2^\circ$. El ángulo de impacto será de $35^\circ \pm 2^\circ$ respecto al nivel de referencia del suelo. El punto de primer contacto del impactador deberá quedar localizado dentro de un margen de tolerancia de ± 10 mm respecto al punto de impacto elegido.

La velocidad del impactador, al golpear la luna parabrisas, será de $9'7 \pm 0'2$ m/s. Al calcular la velocidad de impacto a partir de las mediciones realizadas antes del primer contacto, deberá considerarse el efecto de la acción de la gravedad.

Criterios y niveles de aceptación.

A una velocidad de impacto de $9'7 \pm 0'2$ m/s, deberá registrarse y compararse el HPC con un posible objetivo de 1000.

3.2.2 ORGANISMOS NCAP

Los consorcios NCAP (New Car Assessment Programme) o Programas de Valoración de Automóviles Nuevos, son asociaciones formadas por diferentes entidades cuyo propósito es valorar la seguridad de los nuevos vehículos que salen al mercado. Para hacer esto, se realizan diferentes tipos de crash test sobre el vehículo.

Una vez realizados estos ensayos de choque, la seguridad de cada vehículo es evaluada en función de una serie de parámetros primeramente definidos. Los datos recogidos son traducidos a una escala de puntuación y de colores, que es fácilmente interpretable por los futuros compradores.

Las pruebas realizadas por estos organismos, suelen ser diferente a las realizadas para la homologación de un vehículo, siendo en muchos casos, pruebas que someten al automóvil a ensayos más comprometidos con la seguridad

Con la aparición de los consorcios NCAP, los compradores han podido conocer fácilmente la seguridad pasiva ofrecida por los diferentes vehículos, y comparar la seguridad entre los diferentes automóviles de la misma categoría.

La asociación NCAP más conocida en España es el consorcio europeo EuroNCAP, aunque existen otros en Japón (JNCAP), Australia-Asia (ANCAP) o Estados Unidos (IIHS y NHTSA) [18]

3.2.2.1 EURONCAP

Se estudiará a continuación el consorcio EuroNCAP, puesto que es el que afecta en Europa. El resto de consorcios enumerados anteriormente trabajan de la misma manera, obteniendo resultados muy parecidos entre sí.

EuroNCAP es un consorcio independiente que agrupa a distintas administraciones y asociaciones europeas que representan a más de 150 millones de consumidores. Nació en 1997, respaldado por cinco gobiernos europeos y entre sus integrantes destacan el Departamento de transportes de Reino Unido, la Administración de Carreteras de Suecia, Holanda, Francia, Alemania, la Alianza Internacional de Turismo, la Federación Internacional de Automovilismo y la Asociación Testing, que agrupa a 25 organizaciones de consumidores. En España, participan en EuroNCAP el RACE (Real Automóvil Club de España), el RACC (Real Automóvil de Cataluña) y la OCU (organización de Consumidores y Usuarios). [18] [94]

El Programa de Valoración de Automóviles Nuevos (European New Car Assessment Programme) tiene como misión: [18] [42]

Dialogo:

- Dialogar con todos los interesados: legisladores, industria, investigación, otras organizaciones NCAP, aseguradoras...
- Actuar como defensor de la seguridad.
- Identificar nuevas prioridades y comunicaciones.

Audiencia:

- Estimular el mercado proporcionando información independiente para el consumidor.
- Alentar exactamente y de manera oportuna e imparcial sobre los informes de nuevos coches.
- Informar a los medios de comunicación, miembros de las organizaciones, compañías de alquiler de coches, aseguradoras para ayudar a los consumidores.
- Controlan el impacto en los medios de comunicación y su eficacia.

Inspira en la innovación:

- Colocar en lo más alto la más adecuada seguridad para las industrias.
- Alentar, tanto de forma directa como indirecta, en la investigación de nuevas tecnologías.
- Soportar los departamentos de seguridad dentro de las industrias automovilísticas.
- Conseguir los objetivos de forma accesible y a tiempo.
- Estimular la mejora continua en la industria e internamente.

Valorar a la sociedad

- Reduciendo el número de accidentes y víctimas en las carreteras europeas.
- Continuar con independencia los test de impacto.
- Estimular la discusión sobre la seguridad.
- Manteniendo independencia y credibilidad.

Efectivo

- Medir en su totalidad la eficiencia de las actividades de Euro NCAP hacia los análisis de accidentes
- Medir la actual función
- Informar de la futura dirección

Realizar pruebas de choque para comprobar la seguridad de los coches y después informar a los consumidores es el objetivo de EuroNCAP. La normativa sobre la homologación de vehículos ante una colisión, establece unos valores mínimos que deben cumplir los vehículos, con lo cual, los fabricantes sólo están obligados a cumplir con esos mínimos de seguridad. Es por ello, que de manera indirecta, al dar a conocer las puntuaciones obtenidas, favorecen la mejora continua de la seguridad pasiva y activa de los vehículos ya que los fabricantes se esfuerzan en construir vehículos cada vez más seguros. [38] [42]

La manera de llevar a cabo un análisis de choque de un vehículo por EuroNCAP es siempre la misma, los pasos están predeterminados y no se deja nada en el aire. La elección del coche, las colisiones a las que será sometido o los sistemas de calificación quedan decididos desde el primer momento.

Una representación de todos los miembros del EuroNCAP decide el segmento de vehículo que se va a ensayar, utilitarios, monovolúmenes, todoterrenos, berlinas... El hecho de elegir un único segmento es que EuroNCAP no compara categorías diferentes, masa y tamaño diferentes, ya que el comportamiento de cada segmento es muy dispar.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Una vez decidida la categoría, se deben elegir aquellos coches que son más populares o más representativos. Seguidamente se comunica al fabricante la elección por si quiere introducir alguna mejora en cuanto a seguridad se refiere. Cuando está formalizado todo, EuroNCAP acude a un concesionario de forma anónima y compra el coche con el equipamiento mínimo de seguridad con el que se comercializa.

También, si un fabricante tiene especial interés en ensayar un coche en particular que no ha sido escogido por EuroNCAP tiene la oportunidad de subvencionar las pruebas y así obtener las estrellas otorgadas. [23] [38]

3.2.2.2 ENSAYOS:

EuroNCAP realiza múltiples ensayos a los vehículos, que son ensayados en los laboratorios de Francia, Holanda, Alemania o Inglaterra.

Los crash test que se realizan y sus características son los que se representan esquemáticamente en la siguiente figura [23], más adelante se comentarán más detalladamente.

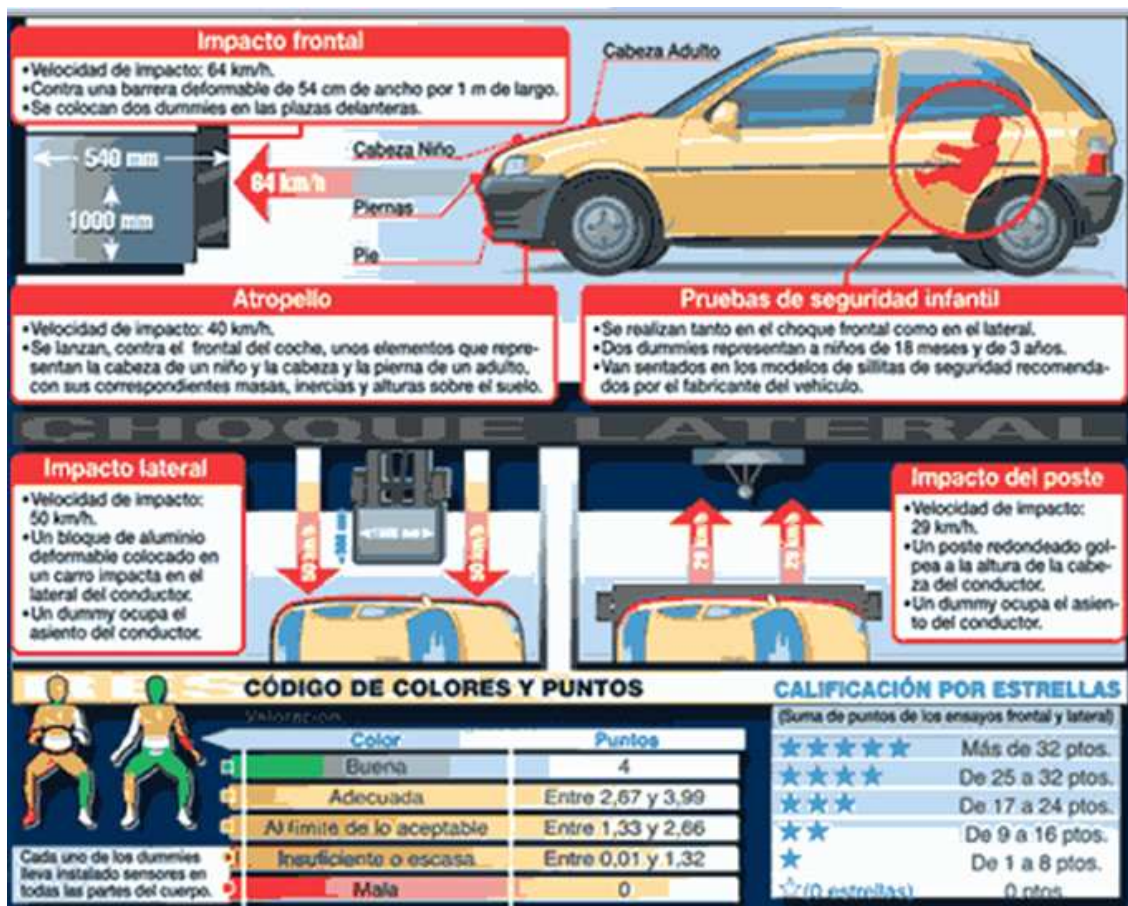


Figura 3.25 – Pruebas y características de las pruebas EuroNCAP.

Hasta ahora la otorgación de las estrellas viene dada por la suma de la puntuación en los tres apartados: protección de ocupantes adultos, protección de ocupantes infantiles y protección a los peatones tanto en el ensayo frontal (impacto frontal y atropello) como en el lateral (impacto lateral e impacto del poste). Desde hace un

tiempo conseguir las apreciadas cinco estrellas no es extremadamente complicado pues la mayoría de los ingenieros diseñan sus vehículos con el fin de superar las pruebas crash test y no de conseguir coches realmente seguros ante cualquier tipo de siniestro.

Desde el año, 2009, EuroNCAP ha dado a conocer que endurecerá los criterios que aplican. Con este nuevo sistema de puntuación, los vehículos tendrán que obtener buenos resultados en cada una de las áreas de evaluación para conseguir una calificación general satisfactoria. Además de obtener una buena puntuación, ningún coche logrará las cinco estrellas si no cuenta con control electrónico de estabilidad (ESP)

Para poner ejemplos concretos, si un fabricante quiere tener cinco estrellas en un modelo concreto, dicho automóvil deberá ofrecer ESP de serie en el 85% de las unidades que comercialice del mismo, y ofrecerlo como opcional en el 15% restante. También recibirán puntos los coches que integren un limitador de velocidad activo, y se valorarán los sistemas de minimización del temido “latigazo cervical” (reposacabezas activos) ante un impacto trasero. [7]

Con este cambio, los responsables de EuroNCAP parece que quieren volver a poner a los fabricantes en apuros para conseguir sus preciadas cinco estrellas, de cara a poder volver a actuar como mecanismo de mejora de la seguridad, pero esta vez no quieren limitarlo al aspecto pasivo.

Por otro lado, ADAC, el mayor club de automovilistas de Alemania y uno de los de más peso en Europa cuestiona fuertemente los test EuroNCAP. Ha comprobado que un vehículo que ha obtenido cinco estrellas en el test EuroNCAP puede rebajar notablemente sus niveles de seguridad si el choque frontal se produce a 80 km/h en lugar de a 64 km/h como lo hace EuroNCAP.

Aumentar ligeramente la velocidad de 64 a 80km/h, tan solo 16km/h, implica que la energía de movimiento aumenta un 25 por ciento respecto al EuroNCAP ya que ésta se eleva en función del cuadrado de la velocidad. La energía de impacto también se eleva casi un 60 por ciento, concretamente un 57,3 por ciento.

Es por ello que los efectos sobre los ocupantes del vehículo se agravan. De forma específica, el airbag del conductor no evita que éste impacte contra el volante, lo que se traduce en lesiones graves en tórax y cabeza. Por su parte, los daños del copiloto serían algo menores que los del conductor, aunque su cabeza también llega a impactar contra el salpicadero. Si en la parte trasera del vehículo viajaran niños menores de tres años, las lesiones que se producirían serían incluso más graves que las sufridas por conductor y acompañante.

Los resultados obtenidos en el estudio realizado por ADAC, ponen de manifiesto que aunque un coche obtenga fantásticos resultados en las pruebas de choque realizadas por EuroNCAP no hay que olvidar que en la realidad las colisiones que se producen en calles y carreteras pueden salirse de los parámetros normalizados en los crash test. Impactar a 80km/h en vez de a 64km/h no es complicado por lo que debería tenerse en cuenta.

El consorcio alemán propone no tanto hacer cambios en chasis y resto de estructura del vehículo, sino en mejorar y en lograr mayores avances en sistemas de ayudas a la frenada, control de tracción, control de estabilidad, incluso en potenciar sistemas como el del mantenimiento automático de la distancia de seguridad con el vehículo precedente. Este sistema podría mitigar los daños por alcance. Por el momento, al contrario que los sistemas de control de tracción y estabilidad, que están prácticamente extendidos incluso a modelos de gama media-baja, el sistema de mantenimiento automático de la distancia de seguridad lo incorporan, sólo algunos automóviles de gama alta de fabricantes como Lexus, Honda, Audi, BMW, Mercedes-Benz y Volkswagen, entre otros. [8]

A continuación se detalla cada uno de los ensayos que se realizan para puntuar la seguridad que ofrece un vehículo:

3.2.2.2.1 CHOQUE FRONTAL

El impacto frontal se realiza a 64 km/h. El coche choca contra una barrera deformable descentrada (ODB), de aluminio y con estructura de panel de abeja. El vehículo colisiona contra la barrera con sólo el 40% del frontal, en el lado del conductor como se aprecia en la siguiente figura [40]. Se colocan dos dummies, Hibrid III, en las plazas delanteras mientras que en las traseras se colocan dos sillas de niños con sus respectivos dummies infantiles. En cada uno de estos maniquíes se mide el riesgo de lesión en: cabeza/cuello, tórax, parte superior (pelvis, fémur y rodilla) y parte inferior (tibia, peroné, tobillo y pie) de las extremidades inferiores. [18] [23]

Este ensayo es similar al descrito por la directiva 96/79/CE, salvo por la velocidad mayor de 64km/h, y por la introducción de los dummies infantiles, con los cuales se puede evaluar la protección de los niños en caso de colisión. [18]

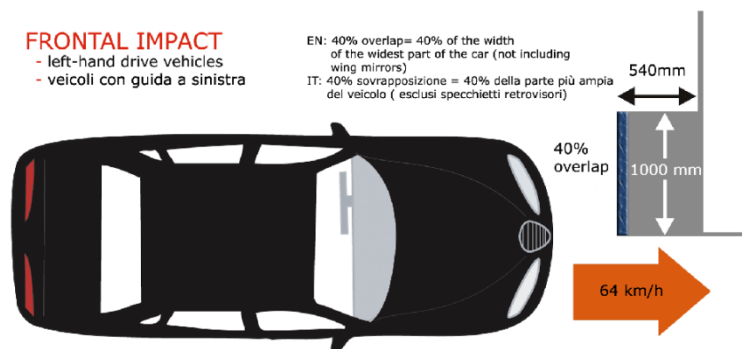


Figura 3.26 – Prueba choque frontal EuroNCAP.

3.2.2.2.2 IMPACTO LATERAL

El test de impacto lateral se realiza a una velocidad de 50 km/h y consiste en impactar perpendicularmente un bloque de aluminio deformable de masa aproximada de 950 kg, el cual está colocado en un carro móvil y simula el frontal de un vehículo, contra el coche como se muestra en la siguiente figura. [40]

Este ensayo es similar al descrito por la directiva europea 96/27/CE salvo por la incorporación de los dummies infantiles en las plazas traseras. [18]

En esta prueba se evalúan las lesiones en: cabeza, tórax, abdomen y pelvis.

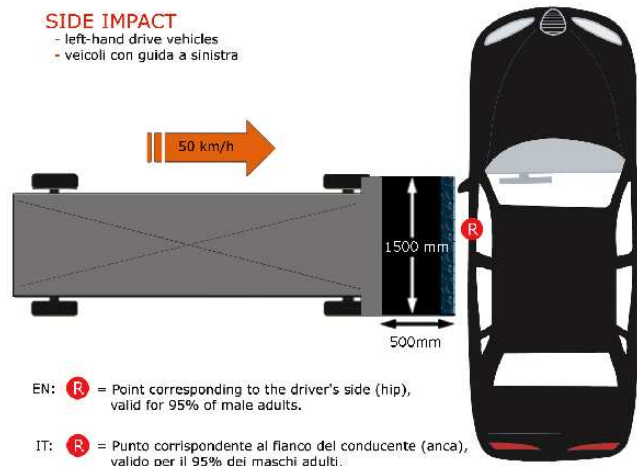


Figura 3.27 – Prueba impacto lateral EuroNCAP.

3.2.2.2.3 TEST DEL POSTE

Este ensayo es una variante del impacto lateral, de hecho, los puntos obtenidos se añaden a la calificación global del ensayo lateral.

Consiste en impactar el vehículo contra un poste rígido y fuertemente anclado de 254 mm de diámetro que penetra a la altura de la cabeza del conductor tal y como se muestra en la siguiente figura [40]. La velocidad de impacto es de 29 km/h.

La finalidad del ensayo es simular la colisión contra un pilar o un árbol y comprobar la seguridad que el vehículo ofrece al conductor, ya que al tratarse de un objeto rígido, la intrusión en el habitáculo es mayor, además de comprobar la eficacia de los airbags laterales. Este tipo de colisiones producen graves lesiones en cabeza y columna vertebral. [18] [23]



Figura 3.28 – Prueba test de poste EuroNCAP.

3.2.2.2.4 WHIPLASH

Con el cambio establecido por EuroNCAP a partir del año 2009 se va a llevar a cabo un nuevo ensayo. Se trata de valorar cuanta seguridad ofrece un vehículo cuando la colisión se produce en la zona trasera. En este tipo de impactos se produce el llamado “latigazo cervical” o “whiplash” que genera gravísimas lesiones en los ocupantes del automóvil.

Mediante este ensayo se pretende estudiar la efectividad que tienen los asientos y si disponen de reposacabezas activos. Para ello, se coloca el asiento del vehículo en una plataforma móvil, como se aprecia en la siguiente figura, sometiéndolo a diferentes aceleraciones. [42]



Figura 3.29 – Prueba whiplash EuroNCAP.

3.2.2.2.5 ATROPELLO DE PEATONES

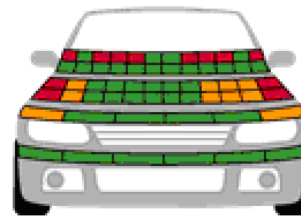
Se analiza el grado de protección que ofrece cada modelo al peatón. Realizar ensayos de atropello con dummies completos tiene diversos inconvenientes como el hecho de que es muy difícil controlar el punto de impacto sobre el vehículo y, además, al elevado coste que supone. Por ello, se lanzan contra distintos puntos del frontal del coche unos elementos, impactadores, que reproducen las características de masa, inercia y altura sobre el suelo, de la cabeza de un niño, la cabeza de un adulto y la pierna de un adulto.

Las pruebas de atropello que realiza EuroNCAP para determinar la protección que ofrecen los vehículos a los peatones están basadas en los métodos propuestos por el EEWC WG 17, que son la base de las vigentes Directivas Europeas. [4] [100]

Como en el resto de ensayos de EuroNCAP, el resultado final es una puntuación global acompañada de un gráfico con un código de colores que representan la puntuación obtenida en cada una de las zonas donde se han realizado los ensayos. Como ejemplo, de la valoración EuroNCAP para la prueba de atropello se incluye el resultado obtenido por el Citroën C6 (2005), que corresponde a la mayor puntuación obtenida por todos los vehículos ensayados hasta la fecha. [18] [42]



■ Pedestrian protection



■	GOOD
■	ADEQUATE
■	MARGINAL

Pedestrian protection

Figura 3.30 – Código de colores en el ensayo de un atropello EuroNCAP.

Los diferentes test que se realizan a los vehículos con impactadores, intentan simular el impacto que tendrían las diferentes partes del cuerpo de un peatón en caso de ser atropellado a 40km/h. En el caso del impacto de cabeza se simula tanto para el caso de un niño como de un adulto. [18] [19] [42]

Para localizar los posibles puntos de impacto de los subsistemas, la parte delantera del vehículo, tanto el parachoques como el capó, se divide en diferentes zonas y cuadrículas, partiendo de las diferentes líneas de referencia determinadas por el EEVC WG 17. La zona del parachoques y el frontal se dividen en seis cuadrículas, mientras que el capó se divide en doce cuadrículas, cada una con 4 cuadrantes, según las diferentes distancias WAD. Las seis superiores, marcadas en la figura 3.31 con la letra “A”, corresponden a la zona donde se simulará el impacto de la cabeza de un adulto, mientras que las inferiores son las destinadas al impacto de la cabeza de un niño, marcadas en la figura con la letra “C”. El esquema de la división de la zona delantera del vehículo es el siguiente. [18] [91] [100]

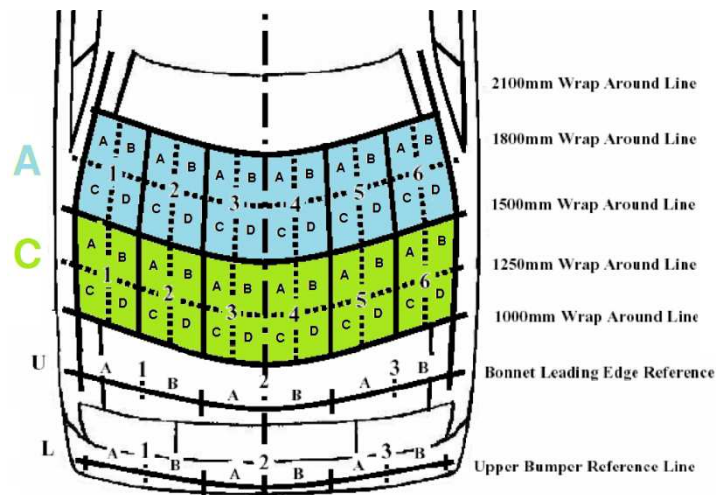


Figura 3.31 – Divisiones en la zona delantera de un vehículo para la realización de ensayos de atropello.

Una vez realizada la división del vehículo se eligen los puntos de impacto de los diferentes subsistemas y las diferentes zonas. Según la zona del impacto, las localizaciones siguen el siguiente criterio:

- ❖ Test de parachoques e impactador de pierna completa. Se realizan tres impactos siguiendo una serie de limitaciones geométricas definidas en el

protocolo, aunque siempre intentando que sean en los puntos juzgados como los que mayor daño puedan producir.

- ❖ Test de línea superior de capó e impactador de pierna superior. Se realizan tres impactos, alineados con los puntos de los tres impactos realizados en el test anterior.
- ❖ Test de capó e impactador de cabeza. El número de puntos de impacto se limita a 12 y pueden ser elegidos en aquellos puntos donde se juzgue que puedan producirse mayores daños como pueden ser la zona de los anclajes de los amortiguadores, en el pilar A, en la zona de la batería, en la base del parabrisas, etc.

Además de estos puntos escogidos por EuroNCAP, el fabricante puede solicitar más puntos de impacto, con una limitación por tipo de test, si cree que los puntos seleccionados no ponen a prueba la protección real del vehículo.

Una vez realizado el test, se obtienen los valores de los sensores de los impactadores, a partir de los cuales es posible dar una valoración de protección. Se desconoce el baremo de puntuación asignado a cada valor de la magnitud medida, aunque sí se conocen los límites de las magnitudes significativas de cada ensayo, que pueden ser consultados en el protocolo de EuroNCAP. [4]

Para cada prueba global de protección al peatón, es posible asignar hasta 36 puntos, ya que cada impacto puede ser valorado con un máximo de 2 puntos. En la valoración de cada impacto tiene influencia si el fabricante del vehículo ha solicitado la realización de algún impacto suplementario a los realizados por EuroNCAP.

El resultado final, como el mostrado en la figura 3.31 (arriba), se obtiene al hacer corresponder las zonas de impacto de color verde con 2 puntos (máxima puntuación); las zonas de color rojo con 0 puntos (mínima puntuación; y las zonas amarillas con una puntuación que va desde 0.01 a 1.99 puntos. [18]

3.2.2.2.6 SEGURIDAD INFANTIL

No existe una prueba específica para analizar la seguridad de los asientos infantiles, pero tanto en el ensayo frontal como en el lateral se instalan en los asientos traseros dos dummies infantiles (representan a un niño de 18 meses y a otro de 3 años) colocados en las sillitas recomendadas por el fabricante del coche. Se analiza la seguridad de la silla y la protección que ofrece (cabeza y esfuerzos que soporta el cuello).

3.3 SUBSISTEMAS O IMPACTADORES

Como ya se ha visto, un tipo de sistemas de tamaño real, los dummies pedestrian, son maniqués perfectamente diseñados e instrumentados para la realización de ensayos de atropello, de los cuales poder extraer todos los parámetros necesarios para un posterior estudio. Realizar un ensayo mediante estos instrumentos no siempre es posible por los siguientes motivos:

- ❖ Los recursos económicos de un pequeño laboratorio no son suficientes para poder obtener una gama de dummies y sus accesorios para poder realizar un profundo análisis.
- ❖ El espacio necesario para realizar este tipo de pruebas con los dummies debe ser amplio para que nada afecte al comportamiento del cuerpo.
- ❖ Llevar a cabo un ensayo de impacto con dummies necesita un alto control ya que es necesario predecir donde ha de impactar el dummy para poder valorar cada zona del vehículo. Predecirlo es una tarea muy complicada.

Es por ello que a veces no se emplean los dummies y se recurre a la utilización de subsistemas o impactadores, siendo esta práctica la más empleada en todo el mundo. Son instrumentos que representan una parte o región del cuerpo de un peatón. Existen tres tipos de impactadores: [91]

- ❖ Pierna (muslo + tibia)
- ❖ Muslo y pelvis
- ❖ Cabeza

El motivo de que sean estas tres partes y no otras se debe a que son las zonas que se ven afectadas en mayor grado, tanto por distribución de las lesiones como por la gravedad de éstas, cuando se produce un atropello [58] [68]. La distribución de lesiones (AIS 2-6) puede verse en el siguiente cuadro, que corresponde con las cifras acumuladas para EEUU, Alemania, Japón y Australia, extraídas del informe IHRA/PS WG del año 2001.

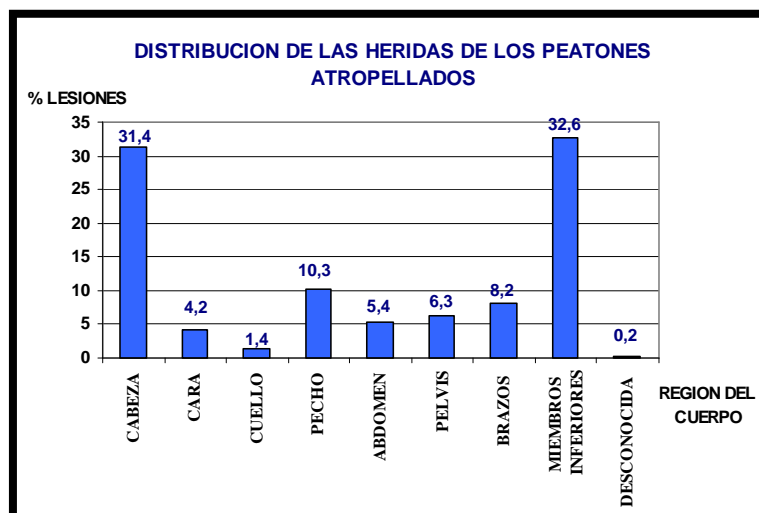


Gráfico 3.4 – Distribución de las heridas de los peatones atropellados.

Aunque los impactadores tienen como ventaja que es muy fácil realizar ensayos sabiendo donde va a colisionar con el vehículo, presentan una desventaja. Este contra es que aún con la instrumentación con la que cuentan no son tan completos como un dummy completo. Sin embargo, son capaces de recopilar aquellos datos imprescindibles, fuerzas y aceleraciones, para después compararlas con los niveles de tolerancia conocidos del cuerpo humano y así conocer las lesiones que se producirían en caso de un atropello real. A continuación, se muestra el cuadro con los niveles de tolerancia del cuerpo humano que se emplea para conocer las posibles lesiones: [125]

Tabla 3.3 – Niveles de tolerancia en el cuerpo humano según distintas magnitudes.

PARAMETRO	SEGMENTO DEL CUERPO	NIVEL DE TOLERANCIA
Fuerza	Tibia	4 kN
	Rodilla	2,5 kN
	Fémur	4 kN
	Pelvis	4 kN (femenino) 10kN (masculino)
HIC	Adulto	1000
	Niño	1000
Aceleración lineal	Cabeza	80 g
	Tórax	60 g
	Tibia	150 g
Aceleración angular	Cabeza	3000rad/s ²
Angulo de rotación	Rodilla	15°
	Cuello	60°
Momento flector	Rodilla	350 Nm
	Tibia	200 Nm
	Fémur	220 Nm
Dislocación	Rodilla	6 mm

3.3.1 IMPACTADOR SIMULADOR DE MIEMBRO INFERIOR

Este tipo de impactador antropomórfico simula las extremidades inferiores del cuerpo humano, una pierna, “legform” para ello se ha hecho constar de dos segmentos rígidos recubiertos de espuma, las cuales representan el fémur (muslo) y la tibia (pierna), unidos por una articulación deformable, la rodilla.

Tras varios diseños, el bastidor ha sufrido varias mejoras, todas ellas dirigidas a la optimización de las características de los elementos deformables para controlar el movimiento de flexión lateral y de cizalladura de la articulación de la rodilla. Se ha modificado el diámetro, la tolerancia total y el momento de inercia.

Finalmente, en el bastidor antropomórfico simulador de la pierna, ha sido mejorado el diámetro, la tolerancia total, y el momento de inercia.

En el siguiente esquema se pueden apreciar los componentes de este tipo de impactador:

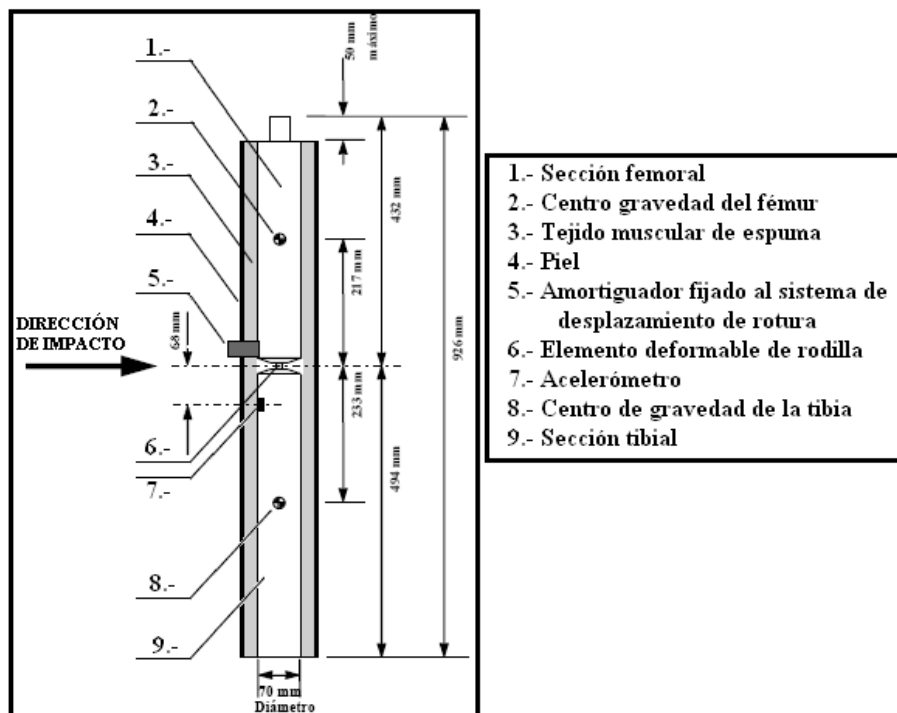


Figura 3.32 – Esquema de impactador de miembro inferior.

A continuación se detallan las características técnicas:

- ❖ La longitud total del impactador es de 926 ± 5 mm, y su masa de $13'4 \pm 0'2$ kg.
- ❖ El fémur y la tibia presentan un diámetro de 70 ± 1 mm, estando el fémur recubierto por espuma de tipo CF-45 con un grosor de 35 mm simulando la masa muscular, y simulando la piel con espuma de neopreno, recubierta por ambos lados de tela de nylon de 0'5 mm de grosor, determinando un grosor total de 6 mm.
- ❖ Las masas totales del fémur y la tibia son de $8'6 \pm 0'1$ kg y $4'8 \pm 0'1$ kg, respectivamente.

- ❖ Los centros de gravedad del fémur y la tibia estarán respectivamente a 217 ± 10 mm y 233 ± 10 mm del centro de la rodilla.
- ❖ Los momentos de inercia del fémur y la tibia sobre ejes horizontales que crucen los centros de gravedad respectivos y perpendiculares a la dirección del impacto, serán respectivamente de $0'127 \pm 0'010$ kgm² y $0'120 \pm 0'010$ kgm².
- ❖ En el lado no impactado de la tibia se fijará un acelerómetro uniaxial, a 66 ± 5 mm del centro de la articulación de la rodilla y con su eje sensible orientado en la dirección del impacto.
- ❖ El impactador estará dotado de un instrumento para medir el ángulo de flexión y el desplazamiento de rotura entre el fémur y la tibia.
- ❖ El sistema de desplazamiento de rotura estará dotado de un amortiguador que podrá montarse en cualquier punto de la cara trasera del impactador o en su interior. Las características del amortiguador deberán permitir que el impactador se ajuste a los requisitos de desplazamiento de rotura (cizalladura) de los ensayos estáticos y dinámicos y que no se produzcan excesivas vibraciones en el sistema de desplazamiento de rotura.



Figura 3.33 – Impactador de miembro inferior.

El impactador descrito en los párrafos anteriores está fabricado por la empresa TRL (Transport Research Laboratory). A pesar de ser el impactador de pierna “estándar” existen investigaciones sobre impactadores con diseños distintos, que buscan una mayor biofidelidad con la pierna humana ya que se considera que este impactador es demasiado rígido [58] [68]. TRL posee un nuevo impactador denominado Sensorleg, y existe otro impactador en estudio llamado FLEX-LFI 2003. [18]

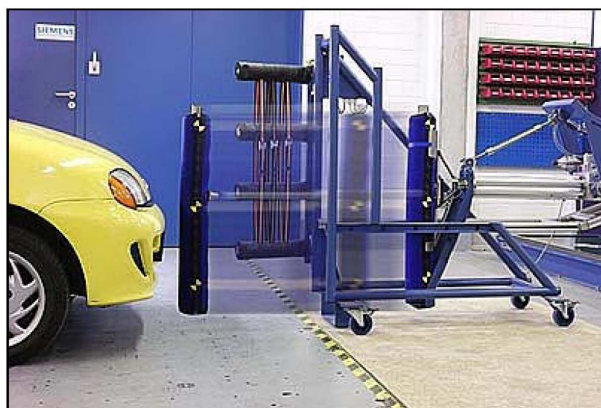


Figura 3.34 – Ensayo realizado con impactador de miembro inferior.

3.3.2 IMPACTADOR SIMULADOR DE MUSLO Y PELVIS

Este tipo de impactador antropomórfico simula la cadera del cuerpo humano, muslo y pelvis, “upper legform”, consta de un segmento rígido, con la cara lateral de impacto recubierta de espuma

Al igual que el anterior impactador, éste también ha sido modificado en diversas ocasiones. Finalmente, el TRL ha mejorado el impactador antropomórfico, reduciendo el área de las capas de espuma que lo recubren, a partir de una serie de orificios entre la capa de espuma y el sistema de ayuda detrás de las células de carga.

En el siguiente esquema se puede apreciar los componentes de este tipo de impactador:

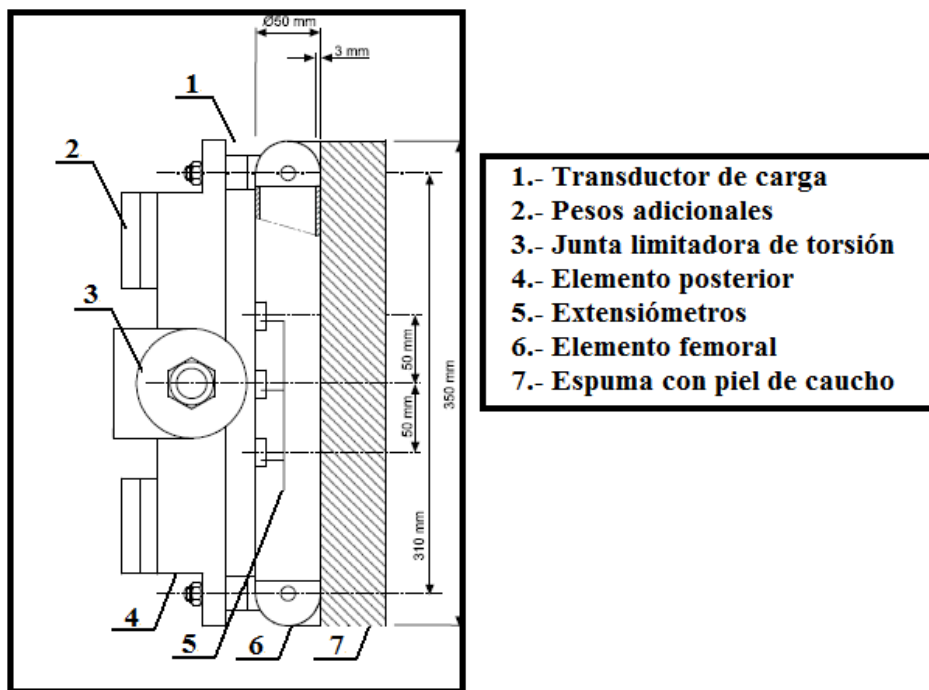


Figura 3.35 – Esquema de impactador de muslo y pelvis.

A continuación se detallan las características técnicas:

- ❖ La longitud que tiene el impactador “upper legform” es de 350 ± 5 mm.
- ❖ La masa total del impactador, incluidos los elementos de propulsión y guía que formen parte del mismo durante el impacto, será de $9'5 \pm 0'1$ kg.
- ❖ La masa total de elemento anterior y otros componentes situados delante de las fijaciones de carga, más las partes de las fijaciones de los transductores de carga situadas delante de los elementos activos, sin incluir la espuma y la piel, será de $1'95 \pm 0'05$ kg.
- ❖ La espuma consistirá en dos capas de 25 mm de grosor de espuma Confor™, tipo CF-45. La piel será una capa de caucho reforzada con fibra de un grosor de 1'5 mm. La capa de espuma y la piel, juntas, pesarán $0'6 \pm 0'1$ kg. La espuma y la piel de caucho deberán estar dobladas hacia atrás, con la piel fijada por espaciadores al elemento posterior de forma que sus bordes se mantengan paralelos.

- ❖ El elemento estará equipado de extensímetros para medir los momentos de flexión en tres posiciones utilizando canales separados, dispuestos en la parte posterior del elemento delantero del impactador. Los dos extensímetros exteriores deberán quedar localizados a 50 ± 1 mm del eje de simetría del impactador. El extensímetro central irá situado sobre el eje de simetría, con un margen de tolerancia de ± 1 mm.
- ❖ La junta limitadora de torsión se instalará de manera que el eje longitudinal del elemento anterior sea perpendicular al eje del sistema de guía, con un margen de tolerancia de $\pm 2^\circ$. La torsión por fricción de la junta será de 650 Nm como mínimo.
- ❖ El centro de gravedad de las partes del impactador situadas delante de la junta limitadora de torsión, incluido cualquier peso fijado, se situará en la línea longitudinal central del impactador, con un margen de tolerancia de ± 10 mm.
- ❖ Se instalarán dos transductores de carga, para medir individualmente las fuerzas aplicadas, a cada extremo del impactador, y extensímetros, para medir los momentos de flexión, en el centro del impactador y en ambas caras a 50 mm de la línea central.
- ❖ El espacio entre las líneas centrales de los transductores de carga será de 310 ± 1 mm, y el diámetro del elemento delantero de 50 ± 1 mm.



Figura 3.36 – Impactador de muslo y pelvis.

3.3.3 IMPACTADOR SIMULADOR DE CABEZA

Este tipo de impactador antropomórfico simula la cabeza de un peatón, “headform”. La cabeza es el órgano más importante para la actividad de una persona [116]. Por ello conseguir un impactador que se comporte de la forma más real posible es crucial para obtener buenos datos y conclusiones. Se han diseñado dos tamaños diferentes, uno grande que corresponde a la cabeza de un adulto y uno pequeño que corresponde a la cabeza de un niño, ya que dependiendo de la estatura de la persona, la cabeza golpea en diferentes lugares del capó. Estos puntos geométricos deben ser estudiados para disminuir la agresividad hacia el peatón si se produce un atropello.

Al igual que los anteriores impactadores, éste subsistema ha sufrido modificaciones por los siguientes motivos:

- ❖ El centro de gravedad no estaba en el lugar adecuado por lo que no simulaba bien la cinemática de la cabeza.
- ❖ Falta de durabilidad de las piezas y componentes, entre otros elementos de análisis.
- ❖ Falta de biofidelidad.

Características generales del impactador de la cabeza tras las modificaciones:

- ❖ La esfera final se construyó en aluminio pues la esfera inicial resultaba ser algo frágil
- ❖ Se recubrió la esfera por una capa de piel de PVC, mejorando la biofidelidad del “headform”.
- ❖ El centro de gravedad y el acelerómetro, se localizó en el centro geométrico de la esfera.
- ❖ La piel se conectó a la esfera para evitar la rotación de ésta dentro de la piel durante el test de impacto.
- ❖ El diámetro exterior y la masa del headform no se modificaron, respecto al original.
- ❖ La capa exterior de piel de PVC presenta un grosor de 12 mm, similar a la cabeza del dummy Hybrid III.

Las características técnicas del headform son:

- ❖ El impactador antropomórfico simulador de la cabeza consiste en una esfera de aluminio de construcción homogénea. Al menos la mitad de la esfera estará recubierta de una piel sintética de vinilo de 11 ± 0.5 mm de grosor en la cabeza de niño mientras que en la de adulto tendrá un grosor de 13.9 ± 0.5 mm.
- ❖ El diámetro del bastidor antropomórfico simulador de la cabeza del peatón niño presenta un diámetro de 130 ± 1 mm, y una masa total de 2.5 ± 0.05 kg. En el caso de la cabeza del peatón adulto presenta un diámetro de 165 ± 1 mm y una masa total de 4.8 ± 0.1 kg.
- ❖ El centro de gravedad del impactador simulador de cabeza, incluyendo los instrumentos, estará en el centro de la esfera, con un margen de tolerancia de ± 5 mm.

- ❖ El momento de inercia en torno a un eje que pasa por el centro de gravedad y perpendicular a la dirección de impacto será de $0'0036 \pm 0'0003 \text{ kgm}^2$ para la cabeza de peatón niño mientras que para la de un adulto será de $0'0125 \pm 0'0010 \text{ kgm}^2$.
- ❖ La esfera deberá estar provista de un hueco para montar un acelerómetro triaxial o tres uniaxiales. Uno de los acelerómetros tendrá su eje sensible perpendicular a la cara de montaje A y su masa sísmica se posicionará dentro de un campo de tolerancia cilíndrico de un radio de 1 mm y una longitud de 20 mm. La línea central del campo de tolerancia será perpendicular a la cara de montaje y su punto central coincidirá con el centro de la esfera del impactador simulador de la cabeza.
- ❖ Los acelerómetros restantes tendrán sus ejes sensibles perpendiculares entre sí y paralelos a la cara de montaje A, y su masa sísmica se posicionará dentro de un campo de tolerancia esférico de un radio de 10 mm. El centro del campo de tolerancia coincidirá con el centro de la esfera del impactador simulador de cabeza.

En el siguiente esquema se puede apreciar los componentes de este tipo de impactador, tanto de adulto como de niño de tamaño adulto:



Figura 3.37 – Esquema de Impactador de cabeza niño (izda.) y cabeza adulto (dcha.).

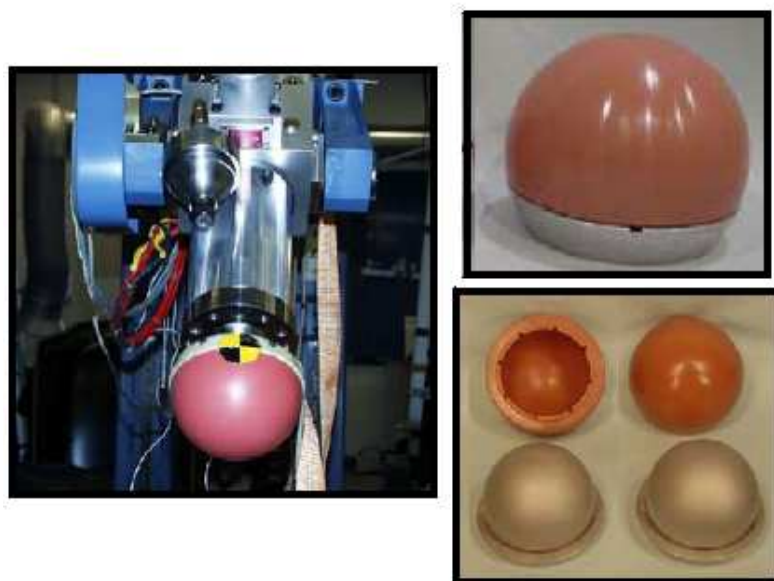


Figura 3.38 – Impactador de cabeza.

3.4 SISTEMAS DE TAMAÑO REAL

¿Qué es un dummy? Un crash test dummy es un término inglés que en español significa: "maniquí de prueba de choque" y que hace referencia al tipo de muñeco o maniquí utilizado para las pruebas de seguridad de los automóviles.

Son réplicas a escala natural de personas, con el peso y las articulaciones creadas para simular el comportamiento del cuerpo humano en una colisión de un vehículo. El maniquí contiene numerosos instrumentos para recoger toda la información posible sobre variables como la velocidad de impacto, la fuerza de compresión, doblado, o la torsión del cuerpo, así como la desaceleración sufrida durante una colisión. Es por ello que los ensayos realizados a escala real pueden ser considerados como las pruebas más completas ya que permiten simular un atropello teniendo en cuenta muchas variables sin necesidad de realizar grandes simplificaciones.

Una de las ventajas más relevantes de los ensayos realizados con los Crash test dummy es que se consigue recopilar datos, además de la biomecánica lesional del peatón y de la cinemática del atropello, pudiendo conocer qué partes del cuerpo de peatón colisionan con el vehículo o con el suelo. Cuando se emplean impactadores, el atropello es simulado considerando únicamente aquellas partes del cuerpo que estadísticamente se ven más afectadas en este tipo de accidentes, pero no pudiendo estudiar las lesiones en el cuerpo completo.

Aún contando con estas ventajas, este tipo de ensayos son muy minoritarios debido a:

- ❖ Los ensayos requieren instalaciones más grandes y complejas.
- ❖ El coste de los dummies son muy elevados.
- ❖ Es necesario contar con equipamiento auxiliar, como son las cámaras de alta velocidad.
- ❖ La posibilidad de poder realizar varios atropellos completos con un único vehículo es reducida, por los mayores daños que sufren en las pruebas.
- ❖ La realización de pruebas no regularizadas o estándar suponen siempre mayores costes y mayor empleo de tiempo.
- ❖ El análisis de los datos recogidos durante el ensayo, resulta más laborioso y complejo.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DUMMIES

Se pretende que el dummy simule de la manera más realista posible el cuerpo de una persona para que los resultados obtenidos puedan ser extrapolados en caso de que ocurra un accidente real. Para ello, deberán tenerse en cuenta lo siguiente: Simplicidad, Antropometría y Biofidelidad. Además, se quiere de igual manera que el dummy sea capaz de ofrecer las siguientes propiedades: Repetibilidad, Reproducibilidad, Sensibilidad, Durabilidad, Manejabilidad, Coste. [106] [53] [20] [79] [46]

SIMPLICIDAD

El cuerpo humano es calificado como la máquina más perfecta y compleja debido a la cantidad de componentes que la forman y la funcionalidad que tiene. Reproducir una persona es verdaderamente complicado. Es por ello, que se deben realizar simplificaciones pero intentando ser lo más fieles además de potenciar aquellos aspectos o partes del cuerpo que interesan en cada dummy, dependiendo del ensayo al que se les vaya a someter. Las simplificaciones realizadas para un maniquí diseñado para pruebas de atropello no serán las mismas que para evaluar eficacia ignífuga de un traje de bombero. En el primero se deberán centrar más los recursos en reproducir las características geométricas y másicas del cuerpo humano mientras que en el segundo caso interesa más reproducir la piel u otros órganos que pueden verse afectados por la alta temperatura o las llamas.

Centrándose en el dummy ideado para ensayo de impacto las simplificaciones pueden ir orientadas a aspectos geométricos, articulares o de acabado exterior, siempre teniendo en cuenta que el modelo final tenga un comportamiento similar al cuerpo humano durante el ensayo.

ANTROPOMETRÍA

Este aspecto es importante a la hora de diseñar un dummy. Se quiere que el dummy sea lo más fiel a la realidad, para ello, se tendrá que diseñar de acuerdo a las proporciones del cuerpo humano, tanto el aspecto exterior como cada uno de los componentes que simule: los huesos, órganos... Conseguir que el maniquí cuente con una estructura similar al cuerpo humano facilitará la obtención de datos más exactos e incluso entender la cinemática de la persona en un accidente real.

Para eso se deben reproducir las principales características antropométricas de una persona como son:

- ❖ Dimensiones de los segmentos del cuerpo. Existen diferentes tamaños de maniqués que representan a niños de diferentes edades o adultos de complexiones físicas distintas.
- ❖ Localización de las articulaciones y otras referencias anatómicas, como pueden ser la vértebra T1.
- ❖ Propiedades másicas y de inercia, como son la localización de los centros de gravedad de los segmentos, los momentos de inercia o los ejes principales de inercia.
- ❖ Apariencia exterior de volúmenes y formas aproximadas.

BIOFIDELIDAD

Tras haber conseguido un dummy lo más fiel posible en cuanto a antropometría se refiere, queda el aspecto más importante y a la vez el más complicado, la biofidelidad. Los ingenieros deben diseñar un dummy que se comporte de forma similar a un cuerpo humano ante impactos, aceleraciones, etc. Para conseguir estos datos es necesario basarse en los estudios realizados anteriormente con animales, cadáveres e incluso con los propios investigadores. Posteriormente el dummy se prueba hasta conseguir un

comportamiento que se mantenga dentro de un margen de correspondencia con los datos de partida.

REPETIBILIDAD

La repetibilidad hace referencia a que al ensayar un dummy varias veces bajo las mismas condiciones los resultados que nos ofrece sean siempre los mismos ya que si no lo fueran no tendría sentido, pues en cada ensayo obtendríamos conclusiones diferentes sin obtener información real sobre el suceso. Por esto, antes y después de cada prueba se analizan los dummies para comprobar que su funcionamiento es correcto y que los valores obtenidos son válidos.

REPRODUCIBILIDAD

Si antes interesaba que un mismo dummy fuera capaz de registrar los mismos valores en un mismo ensayo, ahora lo que se quiere es que al realizar un mismo ensayo con diferentes dummies del mismo tipo también se obtengan los mismos resultados. Este aspecto es importante puesto que es lógico que en los diferentes laboratorios donde se realicen los ensayos se lleguen a las mismas conclusiones del mismo crash test.

Deben existir ensayos de certificación tanto del dummy completo como de sus diferentes partes para comprobar su correcto funcionamiento. Tras la realización de un número perfectamente definido de ensayos, los dummies suelen ser sometidos a un proceso de certificación completo.

Cuando los resultados de estas comprobaciones no son correctos, o bien se reajusta o se sustituye la parte del dummy deficiente.

SENSIBILIDAD

Los dummies están equipados de sensores de diferente tecnología con el fin de poder obtener distintas magnitudes y de diferentes órdenes de magnitud. No en todas las partes del cuerpo del dummy se registran los mismos niveles de impacto y es necesario realizar un estudio sobre las magnitudes físicas así como los lugares que sufren mayor agresividad. Estos sensores están colocados en diferentes lugares estratégicos, midiendo en varios ejes, y suelen ser de tres tipos: básicamente acelerómetro, células de carga y extensómetros. Tras realizar el crash test, se extraen los datos captados por cada sensor y mediante unos algoritmos se extrapola a un posible accidente real bajo las circunstancias dadas.

DURABILIDAD

El uso intensivo y agresivo al que son sometidos los dummies en algunas pruebas, hace necesario que estos dispositivos tengan una alta durabilidad. Deben ser resistentes y capaces de aguantar un número determinado de ensayos, tanto el conjunto completo como sus elementos individuales. Es por ello, que estos maniqués están diseñados como mecanos, en los que se pueden sustituir las piezas de manera sencilla en caso de que algún componente este dañado o haya llegado a la rotura. Incluso la cubierta exterior de los crash test dummies, realizada en material sintético (con base de vinilo) puede ser desprendida del esqueleto metálico del maniquí para ser sustituida, como

consecuencia de las abrasiones, cortes, roturas o quemaduras sufridas durante las pruebas.

MANEJABILIDAD

En los laboratorios se necesita que los tiempos en los que se realizan los ensayos sean mínimos y que no se pierda mucho en los preparatorios y almacenaje ya que no da valor al crash test. Es necesario que los dummies puedan ser manejados con un alto grado de facilidad. No hay que olvidar que los dummies representan una persona adulta con unas características antropomórficas (1.80m de altura) y másicas (80kg). Es por ello que los investigadores además de disponer del propio dummy cuenten con ciertos utensilios que les faciliten esa labor. Entre el equipamiento auxiliar destacan los soportes, en forma de bastidor o silla para ser almacenados, o pequeñas grúas para su manipulación y posicionamiento en las pruebas.

COSTE

Hoy en día existe una amplia gama de dummies dependiendo del tipo de ensayo que se vaya a llevar cabo. Además, se pueden dividir en dummies masculinos y dummies femeninos. Pero no acaba ahí, existe para cada tipo de maniquí diferentes percentiles abarcando las diferentes alturas y complexiones de la sociedad. Ante la diversidad, el precio puede variar significativamente entre unos u otros dummies. Aunque esto sea así, el coste de reproducir mecánicamente a una persona es muy elevado. Actualmente, un típico dummy test crash cuesta entre 5.000 a 100.000 dólares ya que albergan en su interior componentes de altísima tecnología. Al precio del dummy hay que sumarle lo siguiente:

- ❖ Los softwares y hardwares necesarios para la manipulación y análisis de los datos recogidos por los sensores y captadores que llevan los dummies.
- ❖ Los útiles necesarios para su manipulación.
- ❖ Las herramientas necesarias para su mantenimiento.
- ❖ Las piezas necesarias para los recambios en caso de que un componente se dañe.

Como se puede apreciar, no solo basta con el maniquí sino que es necesario poseer diferentes útiles, por ello, el coste es algo influyente en el diseño. Se debe llegar a un compromiso entre coste y el resto de características descritas anteriormente como durabilidad, sensibilidad, biofidelidad... Es decir, se requiere construir el dummy de la formas más barata posible pero eligiendo los materiales adecuados para mantener una óptima funcionalidad del dispositivo.

3.4.2 HISTORIA

Desde hace ya muchos años se tiene especial preocupación por la seguridad de los ocupantes de los vehículos y las lesiones que puedan sufrir. Hacia 1930 los coches no eran nada seguros, de hecho se pensaba que vehículo y seguridad eran completamente incompatibles. Aún así, a finales de ese año, 1930, la universidad Wayne State Detroit comenzó a estudiar las lesiones que sufrían las personas que estaban en el interior de un vehículo pero había varios inconvenientes, no existían datos fiables sobre la respuesta

del cuerpo humano sometido a condiciones extremas ni tampoco herramientas adecuadas para conocerlas. Para realizar dicho estudio era imprescindible salvar el primero de los obstáculos, había que caracterizar la respuesta del cuerpo humano por lo que fue preciso emplear tres tipos de métodos:

El primero de los métodos se basaba en el empleo de cadáveres para realizar las pruebas. Ellos eran usados para obtener información fundamental sobre la capacidad del cuerpo humano para resistir las fuerzas de aplastamiento y desgarró que típicamente ocurren durante un accidente a alta velocidad.

El artículo de Albert King en el *Journal of Trauma* (1995), "*Beneficios para la humanidad en el campo de la prevención de daños, obtenidos mediante investigaciones con cadáveres*" [67], claramente resalta el valor de las investigaciones con cadáveres en salvar vidas humanas. Sin embargo, no todo el mundo estaba de acuerdo por motivos morales y éticos ya que se trabajaba con muertos. Además, aparte de que no fuera apoyado a nivel social, presentaba otros muchos problemas en el ámbito de la ciencia. La mayoría de los cadáveres disponibles eran de adultos de edad avanzada por lo cual no eran demográficamente representativos de las víctimas de los accidentes. Otro problema era que no había dos cadáveres que fueran idénticos, y como una parte específica de un cadáver sólo podía ser utilizada una vez, no era posible obtener datos fiables y comparables. Adicionalmente, era muy difícil conseguir cadáveres de niños y los aspectos legales y de opinión pública no hacían factible su uso. En consecuencia los datos e información biométricos eran limitados y sesgados hacia el hombre blanco de edad avanzada.

No aportando más el ensayo con cadáveres, los investigadores tuvieron que pensar nuevos procedimientos donde poder obtener los datos necesarios. Algunos investigadores decidieron ellos mismos servir como medio para realizar ensayos de choque. Algunos ejemplos son:

- ❖ El coronel John Paul Stapp de la fuerza aérea de los Estados Unidos se subió en un vehículo impulsado por cohetes alcanzando una velocidad de más de 1000 km/h y deteniéndose en menos de un segundo.
- ❖ Lawrence Patrick, un profesor de la Universidad de Wayne State, realizó más de 400 viajes en un vehículo impulsado por cohetes, para investigar sobre los efectos que las desaceleraciones violentas tienen sobre el cuerpo humano. Sus estudiantes y él permitieron que un gran péndulo de metal chocara contra sus pechos, recibieron impacto de martillos rotatorios neumáticos y soportaron el impacto de pequeñas partículas de vidrio para simular la implosión de una ventana.

Si bien los datos obtenidos como producto de ensayos sobre seres vivos fueron valiosos, los voluntarios humanos no podían ser sometidos a ensayos que excedieran el punto en el que sentían un ligero malestar.

A mediados de la década de 1950, se había obtenido toda la información posible a partir de ensayos con cadáveres y los propios investigadores. No obstante los investigadores necesitaban adquirir información sobre las causas y medidas de prevención de daños.

Realizar los impactos con animales fue el siguiente método. El cerdo era el animal que más a menudo se usaba en estudios de impacto, debido a que su estructura interna es similar a la de los seres humanos. El cerdo tiene también la característica de que es posible ubicarlo en un vehículo en una posición similar a la de un ser humano sentado. Si bien era más fácil obtener datos de pruebas con animales que a partir de pruebas con cadáveres, el hecho de que los animales no fueran personas y la dificultad en emplear instrumentación interna adecuada limitaba en parte su utilidad. Hoy en día ya no se practican pruebas con animales.

3.4.2.1 EVOLUCIÓN DEL DUMMY

Con todos los datos obtenidos por medio de los ensayos realizados con cadáveres, animales e incluso los propios investigadores se pudo afrontar la construcción del primer simulador humano, un dummy. Este maniquí, llamado “Sierra Sam”, fue creado en 1949 por la empresa norteamericana Sierra Engineering Co. Pero no estaba enfocado aún a la seguridad en los vehículos sino a las pruebas de los asientos de eyección de los aviones, a través de un contrato con las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos. El dummy pesaba 90 kg, correspondiente a percentil 95%, y se utilizaba para medir aceleraciones. Cabe destacar como anécdota que durante la década de los cuarenta la mayoría de los “extraterrestres” avistados en Nuevo México eran en realidad dummies lanzados desde gran altura para observar su comportamiento durante la caída.



Figura 3.39 – Maniquí Sierra Sam.

En ese mismo año aparece otro dummy denominado “Oscar” de 120 libras (54 kg) utilizado también en investigaciones de la aviación, como fueron pruebas de trineo de cohetes y test de descompresión de aeronaves.



Figura 3.40 – Dummy Oscar.

En 1956, otra empresa norteamericana fabricante de automóviles, General Motors (GM), tras asistir a una conferencia de las Fuerzas Aéreas donde los investigadores militares explicaban los estudios realizados con los dummies en las pruebas de expulsión del asiento, comienza a considerar la utilización de los dummies en las pruebas de choque de los automóviles.

En 1960, la empresa Alderson Research Labs creó el "Gard" (Grumman-Alderson Research Dummy), que contaba con un transductor de 12 canales y con una buena aproximación a los momentos de inercia y centros de gravedad de los diferentes segmentos del cuerpo humano.



Figura 3.41 – Dummy Gard.

No fue hasta 1966 cuando en el congreso de unión de Estados Unidos se aprobó el acta para la creación de "The National Traffic and Metod Vehicle Safety". Desde esta fecha, la industria de diseño y construcción de vehículos se volvió una industria regularizada. Por este motivo, el dummy empezó a ser utilizado como instrumento de diseño para la construcción de automóviles seguros.

Poco tiempo después, comenzó un debate entre industrias de vehículos y el gobierno, ya que se discutía la veracidad y la confiabilidad de los instrumentos de prueba para la seguridad de vehículos. Fue entonces cuando el "National Highway Safety Bureau" propuso el uso del dummy de pruebas llamado "Alderson'2 VIP-50 dummy". El VIP-50 contaba con una cubierta externa de vinilo e interior de espuma,

con dimensiones antropomórficas y una alta biofidelidad, además, contaba con una célula de carga en el fémur. Sin embargo, este dummy requería ser impactado a 48km/h para obtener resultados, por lo que muchos investigadores expresaron su disconformidad ya que las variables obtenidas no eran repetibles ni estaban definidas en términos de ingeniería.

En 1967, Sierra respondió diseñando un nuevo dummy, el modelo se llamó "Sierra Stan". Este dummy nació para ensayos de interacción del cinturón de seguridad. Cuenta con un nuevo diseño de cuello, permite mediciones de aceleración y fuerza, además, de ofrecer datos sobre la deformación en el pecho.

GM decidió que ninguno de estos dummy satisfacía sus necesidades. Por lo que los ingenieros de GM decidieron desarrollar un dummy confiable y duradero, para ello, combinaron las mejores características de los modelos de la serie VIP y Sierra Stan, y así es que en 1971 nace el Hybrid I. Dicho dummy, respondía a las necesidades planteadas por SAE. GM, no solo creó la estructura del dummy sino que también creó los procedimientos de calibración de los mecanismos del dummy, los cuales, tiempo después, serían estandarizados por su puesta en operación en laboratorios de control.

Hybrid I era lo que se conoce como un dummy masculino de percentil 50. Lo que significa, que tenía las características de un ser humano de sexo masculino promedio en cuanto a su altura, masa y proporciones.

Desde entonces, se ha dedicado un esfuerzo importante a la creación de dummies cada vez más sofisticados. El Hybrid II fue creado tan solo un año más tarde de la aparición del Hybrid I, en 1972. Este nuevo maniquí de pruebas estaba mejor documentado y tenía rodillas, hombros y columna vertebral con una respuesta más real ya que en su diseño se centraron en la mejora de las articulaciones. Hybrid II fue el primer dummy que cumplió con el estándar norteamericano (American Federal Motor Vehicle Safety Standard -FMVSS) para ensayos de cinturones de seguridad de pecho y falda gracias a su durabilidad lo que permitía que se utilizara repetidamente. General Motors compartió sus diseños con el resto de la industria del automóvil y los organismos reguladores federales.

A pesar de que Hybrid I y Hybrid II representaban un avance significativo sobre las pruebas con cadáveres, aun así los mismos eran muy simples, y su uso quedaba limitado al desarrollo y prueba de diseños de cinturones de seguridad. En 1972, al mismo tiempo que GM lanzó el Hybrid II a la industria, expertos investigadores comenzaron a desarrollar un dummy de pruebas de impacto que representara con mayor precisión la biomecánica del cuerpo humano durante una colisión real y que permitiera a los investigadores explorar estrategias de reducción de daños.

En 1973, "National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA)" firmó un acuerdo con General Motors para crear un modelo que mejorara al Hybrid II. GM con la ayuda de los miembros del comité de la Sociedad de Ingenieros del Automóvil (SAE) y los proveedores de dummies crean una nueva cabeza, además de agregar mejoras en las articulaciones. A este nuevo dummy se le da el nombre de "GM ATD 502". Como curiosidad, GM acepta firmar el contrato con el gobierno, pero este sólo paga un dólar, por deseo expreso de GM.

Hasta 1976 se continuó mejorando el dummy, “GM ATD 502” desembocando en el “Hybrid III “. De nuevo, GM compartió sus diseños con sus competidores y organismos del gobierno. En 1977 sale a la venta el Hybrid III.

Este nuevo dummy, Hybrid III, correspondía a un modelo masculino de percentil 50, su altura es de 168 cm y su masa es de 77 kg y era usado para ensayos de colisiones frontales que se realizan en el Instituto para Seguridad en las Autopistas.

Durante los siguientes años comienza a crecer la familia de dummies Hybrid III con la creación de variantes de otros percentiles. Su "hermano mayor", el Hybrid III percentil 95, que mide 188 cm y posee una masa de 100 kg. La señora Hybrid III es un dummy femenino percentil 5, con una pequeña talla de 152 cm y 50 kg. Los dos niños dummies Hybrid III representan a un niño pequeño de seis años de edad de 21 kg y a otro de tres años de edad de 15 kg. Estos modelos de niños son la incorporación más reciente a la familia de dummies y su diseño se basa en estimaciones y aproximaciones, y vienen a cubrir el vacío de información existente. También aparecen nuevos dummies como el LRE ATD o el ADAM ATD.



Figura 3.42 – Familia dummies Hybrid III.

En la década de los años 90 comienza una gran expansión y desarrollo en el sector con la aparición de diferentes dummies ideados para ser usados en pruebas choques de otro tipo. Se desarrollan los maniquíes para las pruebas de choque lateral como son el EuroSID-1, el BIOSID o el SID-IIs

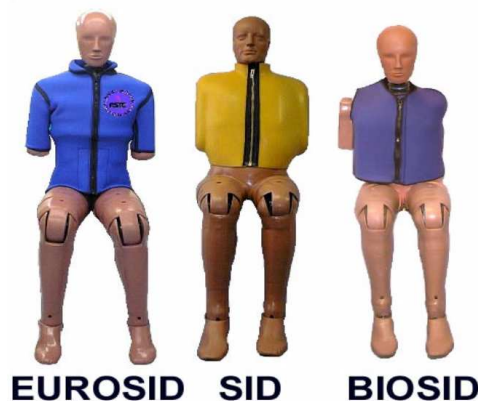


Figura 3.43 – Dummies EUROSID, SID, BIOSID.

En 1991, la Organización Internacional de Regulación, ISO, aprueba una resolución unánime en la que se reconoce la superioridad del dummy Hybrid III de GM. El IIHS, Insurance Institute for Highway Safety, de Estados Unidos acepta esta resolución.

En 1997, la NHTS declara al dummy Hybrid III como el único dispositivo para pruebas de impacto frontal oficial que cumple con las pruebas de sujeción de ocupantes. Este dummy reemplaza al Hybrid II de GM.

En 1998, el Hybrid III se convierte en el dispositivo oficial europeo para pruebas de sujeción contra impacto frontal, y el más usado hasta la fecha en todo el mundo.

A partir del año 2000 vuelve a haber una nueva evolución en los dummies, apareciendo nuevos dummies como el “THOR” utilizado en los ensayos del choque frontal, o los empleados en pruebas de choque lateral como el WorldSID, EuroSID-2. También aparece el BIORID-II empleado en pruebas de impacto trasero o los utilizados en los ensayos de atropello como el POLAR II o el Hybrid III en su versión de peatón.



Figura 3.44 – Dummy THOR.

Pero los investigadores e ingenieros no se quedaron ahí, fueron más allá. A mediados de los años noventa, ya se disponía de la tecnología computacional avanzada y el método de elementos finitos ya estaba lo suficientemente desarrollado como para aplicarse en la simulación de modelos, dummies virtuales. Desde entonces se abrió una nueva línea en el estudio de la seguridad de los vehículos.

Los dummies empleados hasta la fecha estaban hechos de aceros y plásticos, pero gracias a la nueva tecnología, los ordenadores, podrían recrearse personas de una manera mucho más exacta y real.

Dos equipos de ingenieros del Centro de Biomecánica de la Universidad de Virginia, desempeñaron importantes papeles en la creación de este nuevo dummy virtual, que vive en su totalidad dentro de las computadoras, pero es más realista que cualquier maniquí físico nunca sometido a una prueba de accidente. Los dummies virtuales están basados en un ser humano completo, modelizando y caracterizando cada una de las partes del cuerpo humano: carne, huesos, ligamentos, vasos sanguíneos y órganos.

Por otro lado, la empresa de vehículos japoneses, Toyota Motor Corporation y Toyota Central R&B Labs, acaban de lanzar recientemente su propio dummy virtual al que le han llamado THUMS (Total Human model for Safety) cuya investigación comenzó en 1997. Este dummy recrea de manera bastante real a la persona, simulando al detalle cada una de las partes que componen el cuerpo humano, huesos, órganos, músculos, tendones, piel... [120] [121]

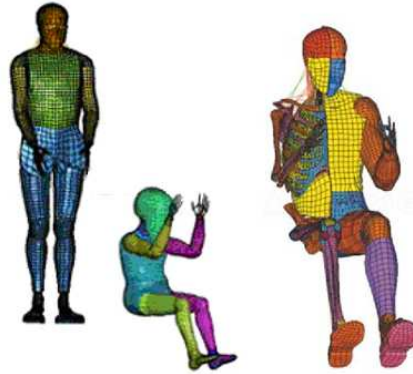


Figura 3.45 – Dummy virtual THUMS.

A través de estos nuevos dummies, puede realizarse cada uno de los ensayos crash test virtualmente bajo todas las hipótesis de accidentes. Analizando los resultados obtenidos se podrá determinar lo que le sucedería al ocupante o peatón en una colisión real.

Son muchas las razones por las que el dummy virtual está desplazando a pasos agigantados los ensayos mediante dummies tradicionales, impactadores o subsistemas como pueden ser:

- ❖ Se pueden recrear diversidad de accidentes con el mismo coche y dummy con solo cambiar las fuerzas, ángulos de impacto, velocidades...
- ❖ Disminuiría notablemente el coste de las pruebas y el tiempo necesario para llevarlas a cabo.
- ❖ Los datos obtenidos serán mucho más fiables y exactos.

Gracias a este avance, en los años venideros la seguridad de los vehículos será mejorada más rápidamente al conocer todas las variables y circunstancias en las que se puede producir una colisión y la biomecánica de las personas implicadas. [18] [20] [45] [46] [49] [53] [63]

3.4.3 EMPRESAS

De los diferentes fabricantes que pueden existir en el mundo, es posible destacar a tres de ellos como los más importantes, por número total de ventas así como por los diferentes tipos de dummies que fabrican. Todos ellos son fabricantes estadounidenses, aunque sus productos son vendidos y utilizados en todo el mundo por cientos de empresas y entidades. En ocasiones algunos de estos dummies han sido desarrollados conjuntamente con otras empresas, como es el caso del Dummy Polar II, que nace de la colaboración de Honda R&B Ltd. y el fabricante GESAC Inc.

Los tres fabricantes más importantes del mundo son: [21] [46] [50]

- ❖ First Technology Safety System (Michigan, EEUU)
- ❖ Denton ATD (Michigan-Ohio, EEUU)
- ❖ GESAC (Maryland, EEUU)

El primero de ellos, FTSS, es el que alcanza una mayor cuota de mercado, cerca del 80%.

Además de fabricar los dummies, también facilitan el resto de material necesario para el empleo de los maniquíes de prueba como pueden ser: acelerómetro, células de carga, sillas y cajas de almacenamiento y transporte, así como el equipamiento necesario para la calibración y mantenimiento de los dummies. También ofrecen otros servicios de carácter técnico y de asesoría.

Otra de las actividades que desarrollan algunas de estas empresas, aparte de la fabricación de los dummies, es la distribución de modelos de simulación de los dummies para ser empleados en diferentes programas informáticos. Todos los modelos realizados han sido validados en las propias instalaciones del fabricante, lo que permite a sus clientes emplear los dummies directamente en las simulaciones. [46]

3.4.4 TIPOS

Como se ha venido diciendo, existe una amplia gama de crash test dummies, cada uno diseñado para un tipo de colisión, de forma que se puedan y así poder obtener datos más específicos para cada caso de accidente.

En el siguiente esquema se pueden ver los diferentes dummies empleados para el ensayo de la seguridad en los vehículos hoy en día. Como se puede ver, dentro de los dummies físicos pueda distinguirse aquellos usados para pruebas de choque donde se quiere analizar la seguridad de los ocupantes en el habitáculo y los diseñados exclusivamente para realizar pruebas de atropello.

Dentro del primer grupo hay varios tipos de dummy dependiendo del tipo de impacto ya sea frontal (Hybrid III), lateral (SID) o trasero (BIORID II). Dentro del segundo impacto existen tres tipos de modelos preferidos: (Hybrid III pedestrian, Polar II y su evolución Polar III)

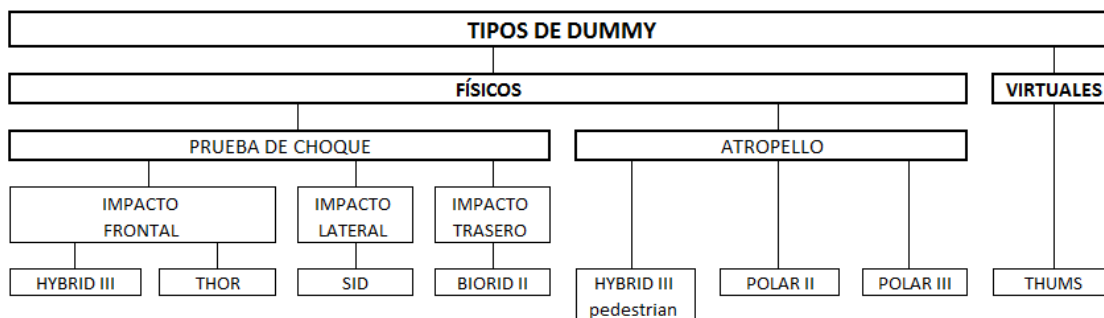


Figura 3.46 – Clasificación de los dummies.

Se comenzará hablando sobre los modelos de dummies empleados para colisiones.

3.4.4.1 DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO FRONTAL

Con este tipo de dummies se pretende realizar un estudio de la seguridad que ofrecen los vehículos hacia los ocupantes con interés de concluir que elementos del automóvil son más agresivos para así modificarlas y mejorarlas. Gracias a este tipo de ensayos se han modificado la columna de la dirección, se han introducido los airbags, reposacabezas activos...

3.4.4.1.1 HYBRID III

Desde su aparición a finales de los años 70, este modelo de dummy se ha convertido en el maniquí estándar para los ensayos de colisión de vehículos en muchos países del mundo.

Hay que recordar que este dummy fue diseñado a partir de los maniqués antecesores. Su esqueleto de acero se asemeja al de un individuo masculino de percentil 50%, poseyendo las características másicas y geométricas adecuadas pero añadiendo una resistencia extra que permite resistir ensayos muy exigentes. La cabeza está formada por una carcasa hueca de aluminio, donde se aloja un acelerómetro. La caja torácica está formada por una serie de costillas de acero que responden como un pecho humano ante el impacto. La zona del abdomen está rellena de una espuma de poliuretano expandido que simula los distintos órganos internos. El cuello y la columna vertebral, presentan un comportamiento similar al de los órganos humanos, gracias a la utilización de elementos elásticos, de goma, intercalados con elementos metálicos de aluminio, y todos ellos unidos por un cable metálico. La parte blanda del cuerpo, como puede ser la piel o los músculos, está compuesta de vinilo y espuma sintética. Estos elementos están contruidos para poder ser desprendidos fácilmente del dummy, y facilitar las tareas de mantenimiento, inspección o calibración. [20] [46] [79]



Figura 3.47 – Elementos que componen el dummy Hybrid III.

A continuación se expone la instrumentación que alberga este tipo de dummies en su interior para poder captar todos los datos necesarios para un exhaustivo análisis en una colisión. [46]

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 3.4 – Instrumentación Hybrid III.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
Acelerómetros en array (3)	Cabeza	Aceleración lineal en eje x, y, z
Acelerómetros (15)	Cabeza	Aceleración lineal en eje x, y, z y rotación
Célula de carga (6)	Cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Célula de carga (6)	Cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Célula de carga	Clavícula	Fuerza en eje x, z
Célula de carga (4)	Húmero	Fuerza y momento en eje x, y
Acelerómetros triaxial (3)	Tórax	Aceleración lineal en eje x, y, z
Medidor de desplazamientos	Tórax	Desplazamiento en x
Célula de carga	Tórax	Fuerza en x
Célula de carga	Tórax	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga	Espina lumbar	Fuerza en ejes x, z y momento en y
Acelerómetros en array (3)	Pelvis	Aceleración lineal en eje x, y, z
Célula de carga submarina	Pelvis	Fuerza en x
Célula de carga	Fémur	Fuerza en x
Célula de carga	Fémur	Fuerza y Momento en ejes x, y, z
Medidor de desplazamientos	Rodilla	Desplazamiento en x
Célula de carga	Pierna inferior	Fuerza en eje z
Célula de carga	Pierna inferior	Momento en eje x, y
Célula de carga	Pierna inferior	Fuerza en ejes y, z y momento en x
Célula de carga	Pierna inferior	Fuerza en eje z
Célula de carga	Pierna inferior	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga	Pierna inferior	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga	Tobillo	Fuerza y Momento en ejes x, y, z
Célula de carga	Dedo	Fuerza en eje z

En este modelo de maniquí se diseñó primeramente con aspecto masculino, cuyo percentil era del 50%, esto quiere decir que el 50% de la población supera sus dimensiones y masa. En la siguiente tabla se puede observar sus características antropomórficas:

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 3.5 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 50%.

MASA DEL SEGMENTO	kg
Cabeza	4.54
Cuello	1.54
Torso Superior	17.19
Torso Inferior	23.04
Brazo Superior	2.00
Brazo Inferior	1.70
Mano	0.57
Pierna Superior	5.99
Pierna Inferior Y Pie	5.44
TOTAL	77.70

DIMENSIONES	cm
Circunferencia Cabeza	57.15
Anchura Cabeza	15.49
Largo Cabeza	19.56
De La Nalga A La Rodilla	56.90
Altura De La Rodilla	53.34
De La Cadera A La Rodilla	14.22
Altura De La Cadera	10.67
Estatura Sentado	93.47



Figura 3.48 – Hybrid III de percentil 50%.

Una vez construido el primer Hybrid III de percentil 50% se sintió la necesidad de diseñar otros complementarios para realizar estudios adicionales como la eficacia de los cinturones de seguridad, posición preferida para los airbags... [46] [21]

- ❖ Hybrid III percentil 95% masculino, representa un individuo cuyas dimensiones y masa son superadas únicamente por el 5% de la población.

Tabla 3.6 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 95% masculino.

MASA DEL SEGMENTO	kg
Cabeza	4.94
Cuello	1.68
Torso Superior	22.31
Torso Inferior	30.30
Brazo Superior	2.81
Brazo Inferior y Mano	2.63
Pierna Superior	8.21
Pierna Inferior	5.75
Pie	1.59
TOTAL	101.24

DIMENSIONES	cm
Circunferencia Cabeza	57.15
Anchura Cabeza	15.49
Largo Cabeza	19.56
De La Nalga A La Rodilla	56.90
Altura De La Rodilla	53.34
De La Cadera A La Rodilla	14.22
Altura De La Cadera	10.67
Estatura Sentado	93.47



Figura 3.49 – Hybrid III de percentil 95% masculino.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

- ❖ Hybrid III percentil 5% femenino, representa una mujer cuyas dimensiones y masa son superadas por el 95% de la población:

Tabla 3.7 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III de percentil 5% femenino.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	3.73	Circunferencia Cabeza	53.85
Cuello	0.91	Anchura Cabeza	14.22
Torso Superior	12.02	Largo Cabeza	18.29
Torso Inferior	13.25	De La Nalga A La Rodilla	53.34
Brazo Superior	1.18	Altura De La Rodilla	40.64
Brazo Inferior y Mano	1.18	De La Cadera A La Espalda	17.73
Pierna Superior	3.13	Altura De La Cadera	8.38
Pierna Inferior Y Pie	4.06	Estatura Sentado	78.74
TOTAL	49.05		



Figura 3.50 – Hybrid III de percentil 5% femenino.

Incluso se han diseñado dummies con aspecto de niños para reproducir la seguridad de las plazas traseras de los vehículos, la eficacia de las sillas de niños... Existen tres tamaños:

- ❖ Hybrid III infantil 3 años

Tabla 3.8 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 3 años.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	2.63	Circunferencia Cabeza	49.0
Cuello	0.45	Largo Cabeza	17.0
Torso	5.85	De La Nalga A La Rodilla	32.3
Brazo Superior	0.32	Altura De La Rodilla	26.4
Brazo Inferior y Mano	0.27	Altura De La Cadera	6.4
Pierna Superior	1.76	De La Cadera Al Asiento	7.9
Pierna Inferior Y Pie	0.73	Estatura Sentado	57.2
TOTAL	15.10		



Figura 3.51 – Hybrid III infantil de 3 años.

❖ Hybrid III infantil 6 años

Tabla 3.9 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 6 años.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	2.72	Circunferencia Cabeza	54.9
Cuello	0.64	Largo Cabeza	17.8
Torso Superior	5.22	De La Nalga A La Rodilla	39.6
Torso Inferior	3.81	Altura De La Rodilla	36.6
Brazo	0.95	Altura De La Cadera	3.8
Pierna Superior	2.22	De La Cadera Al Asiento	7.6
Pierna Inferior Y Pie	1.36	Estatura Sentado	64.5
TOTAL	21.46		



Figura 3.52 – Hybrid III infantil de 6 años.

❖ Hybrid III infantil 10 años

Tabla 3.10 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III infantil de 6 años.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	3.73	Circunferencia Cabeza	53.85
Cuello	0.80	Anchura Cabeza	14.22
Torso Superior	8.14	Profundidad Cabeza	18.29
Torso Inferior	8.71	Desde La Espalda A La Rodilla	42.42
Brazo Superior	0.81	Altura De La Rodilla	38.10
Brazo Inferior	0.61	Desde La Espalda A La Cadera	13.82
Mano	0.17	Altura De La Cadera	8.41
Pierna Superior	2.68	Estatura Sentado	71.63
Pierna Inferior	2.23		
Pies	0.41		
TOTAL	35.20		



Figura 3.53 – Hybrid III infantil de 6 años.

3.4.4.1.2 THOR

THOR (Test device for human occupant restraint) es el maniquí de ensayo frontal más avanzado construido hasta el momento. El THOR supera a su predecesor Hybrid III, en aspectos como la biofidelidad y la instrumentación. Los sensores permiten transmitir información sobre las fuerza ejercidas en la cara del dummy, con lo cual, es posible saber por primera vez las posibles lesiones que sufrirá la cara de la persona durante el impacto. Además de estos nuevos sensores, el THOR cuenta con mayor cantidad de sensores y más sensibilidad que los disponibles en el Hybrid III. Su tamaño equivale a un individuo masculino de percentil 50%.

THOR se ha construido bajo la dirección de la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), y está siendo sometido a un proceso de validación internacional en el que han participado fabricantes de vehículos y centros de investigación americanos, japoneses y europeos.

Aunque por ahora no ha sido adoptado como maniquí de pruebas en ningún procedimiento de homologación de vehículos, parece que pronto se convertirá en el sustituto del Hybrid III.



Figura 3.54 – THOR.

En la siguiente tabla se muestran los datos de la masa de los segmentos del cuerpo. [50]

Tabla 3.11 – Masas de cada segmento del dummy THOR.

MASA DEL SEGMENTO	kg
Cabeza	4.58
Cuello	1.65
Tórax	23.4
Pelvis	15.4
Pierna superior	7.6
Pierna inferior	3.8
Pie	0.95
Brazo superior	2.1
Pierna inferior	2.3
TOTAL	78.3

El THOR introduce como novedad las siguientes especificaciones: [63]

- ❖ La introducción de una cabeza multidireccional en la cual incluyen sensores de aceleración para una mejor colección de datos que sean representativos del movimiento del cerebro dentro del cráneo en una colisión frontal.
- ❖ El cuello de este dummy tiene movimientos representativos de los grupos musculares y el movimiento cervical responde de forma voluntaria en impactos laterales y frontales.
- ❖ El tórax del dummy cuenta con la representación de soporte de clavícula para impactos de alta velocidad sin intervención de fricción.
- ❖ La deflexión del cuello puede hacerse en cuatro puntos de control.
- ❖ El diseño de la articulación de hombro, da seis grados de libertad en giro y 16 movimientos lineales. Esto fue pensado para tener una respuesta más humana dependiendo del movimiento inercial de una colisión impulsada por la masa del brazo.
- ❖ El abdomen del dummy ha sido diseñado con un módulo de medición de compresión en deflexión lateral en tres dimensiones.
- ❖ El diseño de la pelvis ha sido de forma antropomórfica de acuerdo a la configuración del hombre promedio.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

- ❖ Las extremidades inferiores tienen un movimiento en el tobillo y cuenta con resistencias musculares que imitan al movimiento del tendón de Aquiles para un movimiento mucho más real
- ❖ En cuanto a instrumentación el THOR es capaz de transmitir 134 canales de información simultáneos, cuenta con 9 acelerómetros uniaxiales y 1 biaxial. En la cara cuenta con 5 celdas de carga uniaxiales y en el cuello cuenta con dos celdas de 6 canales cada uno con un potenciómetro de rotación.
- ❖ El tórax cuenta con un CRUX de deflexión tridimensional y una constitución de costillas que miden desplazamiento.

En la siguiente tabla se recoge de forma ordenada el tipo de sensor, su localización y la función que tiene: [50]

Tabla 3.12 – Instrumentación THOR.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
Acelerómetros en conjunto	Cabeza	Aceleración lineal y angular
Células de carga (5)	Cara	Fuerza uniaxial en 5 posiciones de la cara
Células de carga	Resorte posterior del cuello	Carga compresiva
Células de carga	Resorte anterior del cuello	Carga compresiva
Células de carga	Parte superior del cuello	Fuerza y momento en eje x, y, z
Potenciómetro rotativo	Unión O-C	Ángulo entre cara y cuello
Células de carga	Parte inferior del cuello	Fuerza y momento en eje x, y, z
Acelerómetro triaxial	Vértebra T1	Aceleración en eje x, y, z
Acelerómetro triaxial	Centro de gravedad del tórax	Aceleración en eje x, y, z
CRUX	Tórax	Deformación 3D de las costillas
Acelerómetro uniaxial	Abdomen superior	Penetración en el abdomen
Células de carga	Vértebra T12	Fuerza y momento en eje x, y, z
Acelerómetro triaxial	Centro de gravedad de la pelvis	Aceleración en eje x, y, z
DGSP	Abdomen bajo	Deformación 3D en dos puntos del abdomen
Células de carga	Cuenca pélvica	Fuerza acetabular izquierda en eje x, y, z
Células de carga	Cuenca pélvica	Fuerza acetabular derecha en eje x, y, z
Células de carga	Fémur izquierdo	Fuerza y momento en eje x, y, z
Células de carga	Fémur derecho	Fuerza y momento en eje x, y, z

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

En el siguiente cuadro se indican las principales diferencias entre estos dos dummies el Hibrid III y THOR: [1]

Tabla 3.13 – Diferencias entre los dummies Hybrid III y THOR.

THOR	Hybrid III
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Costillas antropométricas y orientadas como las del cuerpo humano ❖ Costillas similares a las humanas con geometría de sección ovalada 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Geometría de las costillas no similares a las humanas y con una mala orientación, hacia arriba
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sistema de medida de la deformación del pecho en 3D, mediante el empleo de sistemas de enlace de dos barras con potenciómetros de precisión de rotación. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Sistema de medida de la deformación en el pecho de una sola dimensión a través de un potenciómetro
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Curvatura de la columna vertebral más parecida a la humana 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Geometría de la columna vertebral antropométricamente incorrecta
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Postura sentada ajustable mediante un mecanismo de cambio del ángulo de la columna 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ No tiene posibilidad de ajustar la postura sobre el asiento
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Elementos elásticos y flexibles al nivel de las vértebras T5-T7 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Columna vertebral simple y rígida
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Célula de carga en la columna en el nivel T12- y L1 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Célula de carga al nivel L5
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Hombro mejorado con representación de la clavícula 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Hombro sin clavícula
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Caderas articuladas ❖ Pelvis caracterizada como la humana 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Pelvis moldeada con forma de asiento
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cálculo de la deformación abdominal del abdomen en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Parte blanda del abdomen de espuma y no instrumentada
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cuello con la biofidelidad de tres dimensiones 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cuellos con biofidelidad únicamente en impactos frontales
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cabeza con un perfil de la cara más suave y que incorpora el sensor de carga de la cara 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cara con rasgos humanos, aunque sin posibilidad de registrar la fuerza sobre ella
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fémur deformable con célula de carga de seis canales 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fémur rígido con célula de carga de seis canales

3.4.4.2 DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO LATERAL.

3.4.4.2.1 SID

El SID (Side Impact Dummy) o maniquí de impacto lateral, como su propio nombre indica, es un dummy diseñado para la realización de las pruebas de choque lateral. Su especial diseño lo hace adecuado para mostrar los efectos de las colisiones laterales en las costillas, la columna vertebral y en los órganos internos, como el hígado o el bazo. El SID fue desarrollado a finales de los años 70 por la NHTSA. Es el dummy usado en los ensayos de homologación en Estados Unidos.

En Europa se creó el EuroSID, cuyas características son similares a las del SID americano. Es el dummy utilizado en Europa para realizar los ensayos de homologación de los automóviles nuevos.

Existe otro dummy de ensayo lateral, el BioSID. Es un diseño de General Motors, más avanzado que el del SID y EuroSID, pero no es usado para los ensayos oficiales de homologación.

Tanto el SID, EuroSID y el BioSID representan un individuo masculino de percentil 50%. Son fácilmente reconocibles entre otros dummies puesto que sus brazos sólo están completos hasta el codo.

Tabla 3.14 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy SID.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	4.5	Circunferencia cabeza	57.2
Cuello	0.86	Anchura cabeza	15.5
Torso superior	29.6	Largo cabeza	19.6
Torso inferior	16.7	Longitud desde el glúteo a la rodilla	51.8
Pierna	12,5	Altura de la rodilla	49.8
TOTAL	76.7	Estatuta sentado	89.9



Figura 3.55 – Dummy SID.

La información que facilitan estos dummies es principalmente la aceleración de la columna vertebral y las costillas, además de la compresión en la caja torácica. Esta última medida es tomada como referencia para conocer posibles daños de los órganos internos.

En la siguiente tabla se muestra los dispositivos que albergan en su interior este modelo de dummy para obtener los datos necesarios

Tabla 3.15 – Instrumentación SID.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
Acelerómetros triaxiales	Cabeza	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga (6)	Parte superior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Células de carga (6)	Parte inferior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Acelerómetros triaxiales	Clavícula	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga (3)	Clavícula	Fuerza en ejes x, y, z
Células de carga	húmero	Fuerza y momento en eje x, y
Acelerómetros triaxiales	Brazo superior	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Acelerómetros triaxiales	Brazo inferior	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Acelerómetros triaxiales	Tórax / T1	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Acelerómetros triaxiales	Tórax / T4 y T12	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga (4)	Costilla – columna vertebral	Fuerza en y
Acelerómetros triaxiales (10)	Costilla – columna vertebral	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Medidor de desplazamientos	Costilla – columna vertebral	Deformación en y
Células de carga (6)	Espina lumbar	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Acelerómetros triaxiales	Pelvis	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga	Pelvis	Fuerza en y
Células de carga	Pelvis	Fuerza en y
Células de carga	Vena iliaca	Fuerza en y
Células de carga	Fémur superior	Fuerza en y
Células de carga (6)	Fémur inferior	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Células de carga	Rodilla	Fuerza en x, z
Células de carga	Tibia superior	Fuerza en y, z y momento en x, y
Células de carga	Tibia Inferior	Fuerza en x, y momento en x, y

3.4.4.3 DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE IMPACTO TRASERO.

3.4.4.3.1 BIORID II

Se trata de un dummy diseñado exclusivamente para el ensayo de impacto trasero. Hasta no hace mucho no se percibía la importancia del estudio de este tipo de colisiones y la agresividad que tiene en el cuello de los ocupantes de un vehículo. Gracias a este modelo de dummy se pretende realizar un estudio sobre el movimiento relativo de la

cabeza y el torso. En este tipo de impactos se produce la lesión conocida como latigazo cervical o whiplash, la cual suele ser normalmente a bajas velocidades.

El BioRID cuenta con una columna vertebral compuesta por 24 vértebras, similares a las de un cuerpo humano que permiten reproducir las distintas curvaturas de la espalda. De esta forma su comportamiento ante la colisión trasera es muy similar al de la espalda humana y, por tanto, ayudan a comprender las causas de que se produzca el latigazo cervical. [21] [50] [66]

Fue desarrollado a finales de los años 90, por los fabricantes Volvo y Saab entre otras entidades. El BioRID que representa a un individuo masculino de percentil 50% ha ayudado a mejorar elementos de seguridad como el reposacabezas o los asientos del automóvil incorporando sistemas exclusivos para reducir la gravedad del posible latigazo cervical.

Tabla 3.16 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy BioRID.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	4.54	Punto H Hasta El Asiento	8.6
Cuello	42.41	Punto H Desde El Asiento A La Espalda	13.7
Brazo Superior	2.0	Circunferencia Muslo	14.7
Brazo Inferior Y Mano	2.27	Longitud Desde Nalga A La Rodilla	59.2
Pierna Superior	6.17	Altura A La Rodilla	49.3
Pierna Inferior Y Pie	5.44	Largo Pie	25.9
TOTAL	77.70	Anchura Pie	9.9
		Estatura Sentado	88.4



Figura 3.56 – Dummy BioRID.

A continuación se muestran los sensores y la colocación de cada uno de ellos para poder tomar los datos necesarios:

Tabla 3.17 – Instrumentación BioRID

LOCALIZACIÓN	TIPO SENSOR	MEDIDA
Cabeza	Acelerómetro triaxial	Ax, Ay, Az
Cabeza	Acelerómetro array (12) o rotacional 3-D	Ax, Ay, Az
Cráneo	Célula de carga axiales (6)	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Cuello superior	Célula de carga axiales (6)	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Cuello inferior / T1	Célula de carga axiales (6)	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Cuello	Acelerómetro triaxial	Ax, Ay, Az
Tórax / T12	Acelerómetro triaxial	Ax, Ay, Az
Tórax / T12	Célula de carga axiales (6)	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Pelvis	Acelerómetro triaxial	Ax, Ay, Az



Figura 3.57 – Estructura dummy BioRID

3.4.4.4 DUMMIES EMPLEADOS EN PRUEBAS DE ATROPELLO.

Mientras que los anteriores modelos se centraban en los ocupantes, con estos dummies se pretende investigar las diversas variables (velocidad, geometría del vehículo, zona de impacto, cuerpo humano...) que influyen cuando un peatón es atropellado. Además, se pretende conocer la biocinemática que experimenta una persona cuando es alcanzada por un vehículo y las lesiones que sufre en cada caso.

Hasta ahora, se carecía de información sobre este tipo de accidentes y se hacía uso de la estadística. Un atropello es un accidente muy complejo pues afectan multitud de agentes, y extraer los datos por medio de las estadísticas no es suficiente, es necesario un estudio riguroso.

Se emplean dos dummies principalmente, el Hybrid III Pedestrian y el Polar III.

3.4.4.4.1 HYBRID III PEDESTRIAN

La popularidad del dummy de choque Hybrid III y su uso mayoritario en todo el mundo ha hecho posible que algunos fabricantes desarrollen una versión de peatón o pedestrian, a pesar de que su diseño esté pensado para las pruebas de choque frontales. Básicamente el Hybrid III Pedestrian es un Hybrid III modificado para poder adoptar la posición erguida necesaria para las pruebas de atropello. De hecho el fabricante de dummies Denton ATD dispone en su catálogo de productos, tanto el Hybrid III como el kit de conversión a peatón del Hybrid III estándar. Este kit incluye una nueva configuración para los anclajes de la columna vertebral. [21]

Puesto que la transformación de un Hybrid III estándar a uno de tipo peatón se realiza con un kit de piezas también existen versiones pedestrian para otros miembros de la familia Hybrid III:

- ❖ Hybrid III Pedestrian percentil 95%, masculino
- ❖ Hybrid III Pedestrian percentil 5%, femenino
- ❖ Hybrid III Pedestrian infantil de 6 años

Las principales dimensiones del cuerpo del dummy Hybrid III, así como de sus segmentos pueden verse en la siguiente tabla. [20] [21] [46]

Tabla 3.18 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Hybrid III Pedestrian.

MASA DEL SEGMENTO	kg	DIMENSIONES	cm
Cabeza	5.54	Circunferencia Cabeza	59.7
Cuello	1.54	Anchura Cabeza	15.5
Torso Superior	17.19	Longitud Desde El Hombro Al Codo	33.8
Torso Inferior	23.04	Longitud Desde El Codo A La Muñeca	29.7
Brazo Y Mano	4.27	Longitud Desde El Glúteo A La Rodilla	59.2
Pierna Superior	5.99	Altura De La Rodilla	49.6
Pierna Inferior Y Pie	5.44	Estatura Sentado	88.4
TOTAL	77.70	Estatura Total Erguido	175



Figura 3.58 – Dummy Hybrid III Pedestrian.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

En la tabla siguiente se especifica la ubicación de los sensores, además del tipo de magnitud y el número de canales. [46]

Tabla 3.19 – Instrumentación Hybrid III Pedestrian.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
3 Acelerómetros en array	Cabeza	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga	Parte superior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Células de carga	Parte inferior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Células de carga	Clavícula	Fuerza en ejes x, z
Células de carga	húmero	Fuerza y momento en eje x, y
3 Acelerómetros en array	Tórax	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Medidor de desplazamientos	Tórax	Deformación lineal en eje x
Células de carga	Costilla – columna vertebral	Fuerza en eje x (2 por costilla, 12 total)
Células de carga	Columna vertebral	Fuerza en ejes x, y, z. momento en eje y
Células de carga	Espina lumbar	Fuerza en ejes x, z. momento en eje y
3 Acelerómetros en array	Pelvis	Aceleración lineal en ejes x, y, z
Células de carga	Fémur	Fuerza en eje x
Medidor de desplazamientos	Rodilla	Deformación lineal en eje x
Células de carga	Rodilla	Fuerza en eje x
Células de carga	Tibia superior	Momento en ejes x, y
Células de carga	Tibia inferior	Fuerza en ejes y, z. momento en eje x
Células de carga	Tobillo	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Células de carga	Pie	Fuerza en eje x

El Hybrid III que sirve como base para el Hybrid III Pedestrian tiene como inconveniente que no fue diseñado para sufrir impactos directos como ocurre en los ensayos de atropellos por lo que los componentes del maniquí deben ser sustituidas con mayor frecuencia elevando el coste del crash test. En cambio, el Hybrid III Pedestrian fue diseñado cuidadosamente y presentaba unas cualidades óptimas sobre todo en cuanto a biofidelidad e instrumentación se refiere. Por este motivo, el Hybrid III puede ser usado en ensayos de atropello ya que los datos recogidos son muy fieles a la realidad.

3.4.4.4.2 POLAR II

Aunque el Hybrid III se adaptó para poder ser utilizado para ensayos de atropello era de esperar que se diseñara un nuevo dummy específico para este tipo de impactos. Fue en 1998 cuando el fabricante japonés Honda sacó a la luz el modelo Polar I. Este peatón mecánico fue ideado para reproducir la cinemática de un cuerpo humano al ser alcanzado por un vehículo, también, gracias a este modelo y la instrumentación con la que cuenta se puede identificar que partes del dummy colisionan con las diferentes zonas del vehículo.

Tras el éxito de Polar I, Honda R&B Ltd y GESAC Inc. trabajaron conjuntamente obteniendo la evolución, el Polar II. [95]



Figura 3.59 – Elementos que componen el dummy Polar II.

Este nuevo dummy presenta mejores prestaciones que su antecesor ya que se mejoró la respuesta cinemática a la vez que se le equipó con nuevos instrumentos en ocho partes diferentes del cuerpo humano con el objetivo de poder obtener mayor cantidad de datos y así conocer mejor los motivos por los que se produce cada una de las lesiones que sufren los peatones. [54] [55]

De la parte superior del cuerpo destaca la columna vertebral, con hombros y caja torácica similar a la humana, incluyendo costillas y clavículas, con lo que se consigue una respuesta muy similar a la del cuerpo humano en caso de impacto. La musculatura cervical del cuerpo es simulada por una serie de cables y resortes. En la parte inferior del cuerpo, las extremidades, destaca el modelo de rodillas donde la función de los ligamentos cruzados es realizada por una serie de cables unidos a resortes. Los huesos largos de las piernas están realizados en resina, lo que proporciona cierta flexibilidad y reproducen las posibles roturas en caso de impacto.

Polar II representa a un individuo masculino de percentil 50%, cuyas dimensiones y masas de los segmentos de su cuerpo aparecen en las siguientes tablas y gráficos. [55]

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 3.20 – Masas y dimensiones de cada segmento del dummy Polar II.

POLAR II, PERCENTIL 50%	
Masa total	75 Kg.
Estatura	175 cm.
Estatura en posición sentada	88.4 cm.
Masa de cada segmento	Kg.
Cabeza	4.85
Cuello	1.65
Tórax	23.4
Pelvis	15.2
Pierna superior	7.6
Pierna inferior	3.8
Pie	0.95
Brazo superior	2.1
Brazo inferior	2.3

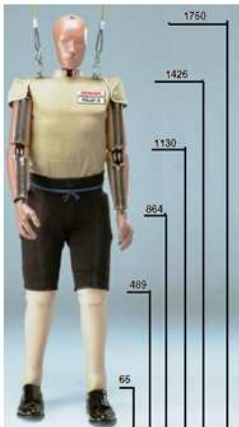


Figura 3.60 – Polar II.

Respecto a la instrumentación, Polar II consta de una gran cantidad de sensores repartidos por todas las partes de la anatomía con la finalidad de registrar todas las magnitudes físicas necesarias para un posterior estudio tras el atropello. En la tabla siguiente se muestra el tipo de sensor su ubicación y la magnitud que mide: [50]

Tabla 3.21 – Instrumentación Polar II.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
Acelerómetros en array (6)	Cabeza	Aceleración lineal y angular
Células de carga (5)	Cara	Fuerza uniaxial en 5 posiciones de la cara
Células de carga	Resorte posterior del cuello	Carga compresiva
Células de carga	Resorte anterior del cuello	Carga compresiva
Células de carga	Parte superior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Potenciómetro rotativo	Unión O-C	Ángulo entre la cabeza y cuello
Células de carga	Parte inferior del cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Acelerómetro triaxial	Vértebra T1	Aceleración en ejes x, y, z
Acelerómetro triaxial	Centro de gravedad del tórax	Aceleración en ejes x, y, z
CRUX	Tórax	Deformación lateral de las costillas
Acelerómetro triaxial	Centro de gravedad de la pelvis	Aceleración en ejes x, y, z
DGSP	Abdomen bajo	Deformación lateral del abdomen
Células de carga	Fémur izquierdo	Fuerza y momento en ejes x, y
Células de carga	Fémur derecho	Fuerza y momento en ejes x, y
Células de carga	Parte superior de la tibia	Fuerza y momento en ejes x, y
Células de carga	Parte inferior de la tibia	Fuerza y momento en ejes x, y

3.4.4.4.3 POLAR III

Honda vuelve a estar otra vez a la vanguardia, a finales del 2008 hizo pública su nueva creación, el Polar III, la tercera generación. En un comunicado de prensa hacía patente que iba a poner en marcha ese mismo año a este nuevo dummy. Con ello pretenden realizar un estudio más amplio, profundo y preciso de un atropello, centrándose en la parte inferior del cuerpo humano, extremidades inferiores y la parte inferior de la espalda. Es en estos lugares donde los peatones sufren mayor número de lesiones y más severas al ser atropellados por un vehículo SUV o mini-van, los cuales han aumentado en cantidad en el parque automovilístico en cualquier ciudad del mundo.

Las modificaciones que ha sufrido el polar II para la creación del Polar III son las descritas a continuación: [55]

- ❖ Posibilidad de evaluación de fracturas óseas.
- ❖ Mayor capacidad de evaluar lesiones de los ligamentos de la rodilla.
- ❖ Revisión de los materiales empleados consiguiendo mayor biofidelidad.
- ❖ Se han añadido nuevos sensores cuya función principal es la de registrar momentos de flexión y carga en los ligamentos y huesos.

AVANCES EN LA 3ª GENERACION DEL DUMMY PEATON, POLAR III	
Cabeza	Igual que POLAR II (evalúa las fracturas de cráneo y daños cerebrales)
Cuello	Igual que POLAR II (evalúa daños en las vértebras cervicales)
Tórax y abdomen	Igual que POLAR II (evalúa daños en órganos internos)
Cadera	Nueva estructura flexible en la unión entre pelvis y pubis Medida de flexión y carga del hueso y evaluar fractura del hueso
Fémur	Nueva estructura flexible para el fémur Medida del momento y evaluar fractura del hueso
Rodilla	Resortes muy pequeños que representan ligamentos en la rodilla Medidas de carga en cada ligamento y evaluar su desgarró
Pierna inferior	Eje flexible para la tibia y peroné Medida del momento y evaluar rotura del hueso
Cuerpo	Igual que POLAR II (reproduce la cinemática del cuerpo humano)

Figura 3.61 – Modificaciones realizadas en el Polar II para la creación del Polar III.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

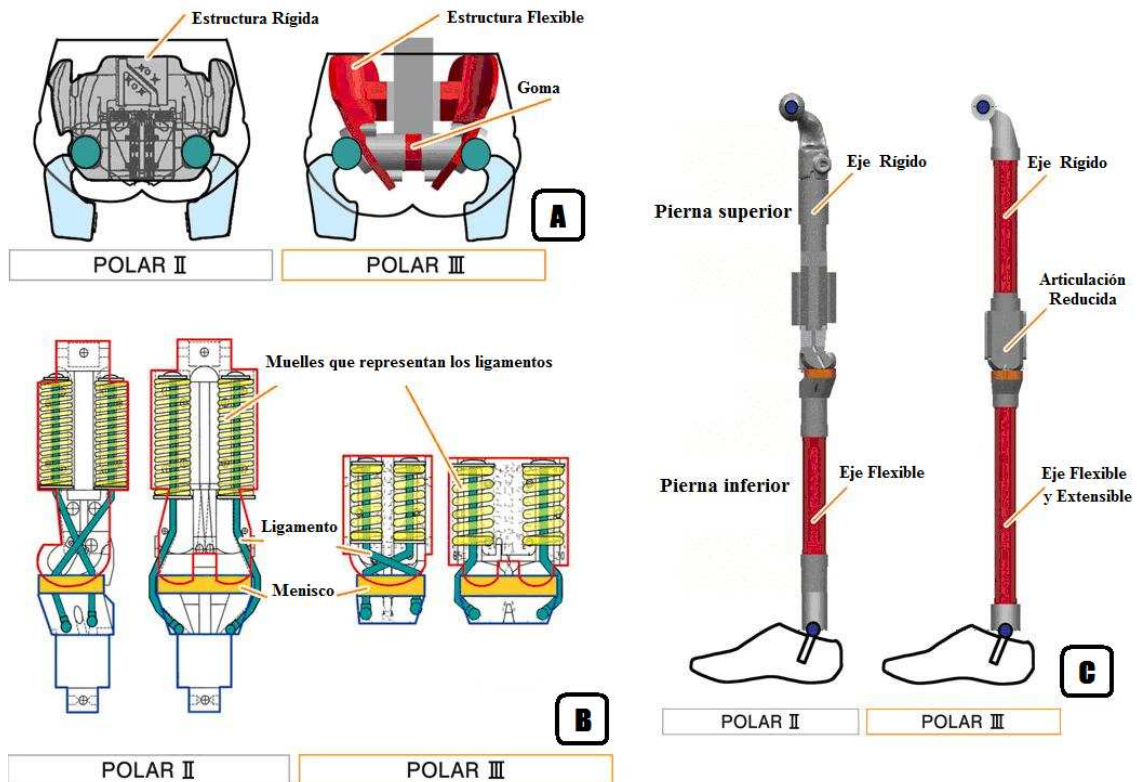


Figura 3.62 – Modificaciones en cada segmento del dummy Polar II para la creación del Polar III.

Tras las modificaciones el nuevo Dummy, Polar III tiene las siguientes características másicas: [50]

Tabla 3.22 – Masas de cada segmento del dummy Polar III.

MASA DEL SEGMENTO	kg
Cabeza	4.58
Cuello	1.65
Torso	23.4
Pelvis	15.2
Brazo Superior	2.1
Brazo Inferior	2.3
Pierna Superior	7.6
Pierna Inferior	3.8
Pie	0.95
TOTAL	78.3

En la siguiente tabla se resume los sensores con los que cuenta el Polar III: [50]

Tabla 3.23 – Instrumentación Polar III.

TIPO SENSOR	LOCALIZACIÓN	MEDIDA
3 Acelerómetros en array	Cabeza	Aceleración lineal y angular
Célula de carga (5)	Cara	Fuerza en z en 5 localizaciones
Célula de carga	Parte trasera del cuello	carga de compresión
Célula de carga	Parte frontal del cuello	carga de compresión
Célula de carga	Parte superior cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Potenciómetro rotacional	O-C articulación	Ángulo relativo cuello - cabeza
Célula de carga	Parte inferior cuello	Fuerza y momento en ejes x, y, z
Acelerómetro triaxial	T-1	Deformación lateral de las costillas
Acelerómetro triaxial	CG Tórax	Aceleración en ejes x, y, z
CRUX (1)	Tórax	Deformación lateral de las costillas
Acelerómetro triaxial	CG Pelvis	Aceleración en ejes x, y, z
DGSP (1)	Abdomen inferior	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga	Fémur	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga (2)	Tibia superior	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y
Célula de carga (2)	Tibia inferior	Fuerza en ejes x, y, z y momento en x, y

3.4.4.5 DUMMIES VIRTUALES:

3.4.4.5.1 THUMS

El THUMS (Modelo totalmente humano para la seguridad) es un modelo de ser humano virtual desarrollado por Toyota Motor Corporation y Toyota Central R&D Labs. El modelo ayuda a comprender mejor los mecanismos que causan las lesiones en choques reales de automóviles que resultan difíciles de analizar con los maniqués de pruebas actuales. Los resultados del estudio se emplearán para mejorar adicionalmente la seguridad en los choques de automóviles.

Hasta ahora los maniqués empleados son físicos y, por tanto, los materiales de los que están hechos no son iguales a los de un cuerpo humano. En estos dummies reales se podía medir las fuerzas y aceleraciones que se aplicaban a un cuerpo durante un impacto pero jamás reproducir las lesiones sufridas en los tejidos de un cuerpo.

THUMS ha sido diseñado teniendo en cuenta hasta el más mínimo detalle. No sólo es fiel a la forma externa del cuerpo humano sino que también a sus estructuras internas tales como los huesos y los tejidos blandos (los ligamentos, los tendones, las partes de carne y el sistema muscular) para poder lograr el objetivo propuesto.

THUMS representa a un hombre adulto como ocupante/peatón con un tamaño del cuerpo normal. En el futuro, Toyota se propone incorporar datos de órganos internos y del cerebro en el THUMS. [120]

En las siguientes imágenes se refleja cómo está diseñado el Dummy virtual creado por Toyota, el THUMS y el poder de análisis que se tiene al reproducir virtualmente un crash test. [81]

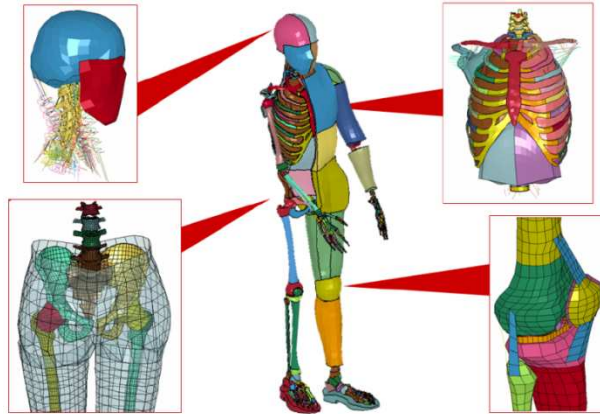


Figura 3.63- Diseño de cada segmento del dummy THUMS.

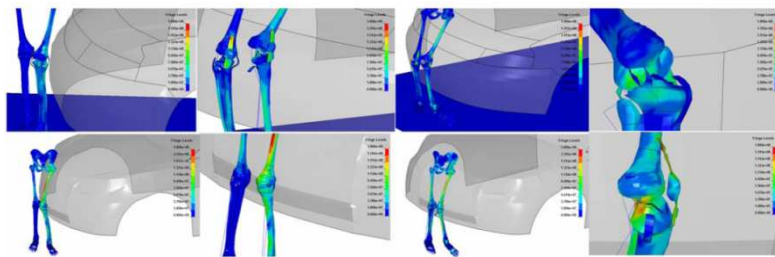


Figura 3.64 - Distribuciones de esfuerzos en las piernas en el atropello con un vehículo turismo (arriba) y un vehículo todoterreno (abajo).

No hace falta decir que ya no estamos ante un dummy diseñado exclusivamente para un tipo de ensayo sino que gracias a este nuevo avance de la tecnología computacional podremos analizar con el mismo dummy cualquier impacto bajo distintas condiciones con tal de colocar el maniquí en la posición correspondiente. Aún así, se crean diferentes dummies virtuales de diferentes percentiles, tanto masculinos como femeninos, para abarcar cualquier edad y complexión física. En el siguiente gráfico se puede ver un recién nacido mediante elementos finitos. [34]



Figura 3.65 – Dummy infantil virtual

Incluso se modelizan solo partes del cuerpo humano, las cuales son más críticas ante una colisión. Es lo que han hecho en Seikei University Graduate School con el objetivo de examinar los impactos que sufre la cabeza y sus respuestas. En el siguiente gráfico se observa el modelo que crearon y las gráficas de presión y tensión que sufre el cerebro al impactar con la cara interna del cráneo. [116]

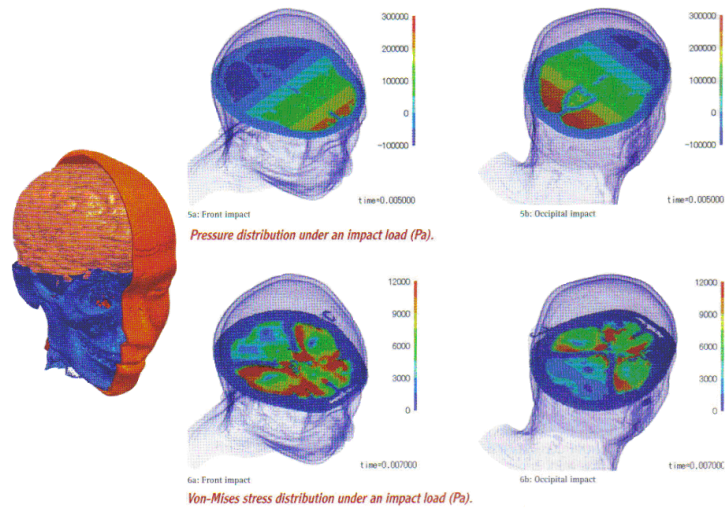


Figura 3.66 – Modelo de cabeza para el estudio de presión y tensión en el cerebro durante un impacto.

3.5 SIMULACIÓN POR ORDENADOR

En la sociedad donde el ahorro de tiempo marca o determina el ritmo de las actividades, es necesario prestar mayor atención a los tiempos de diseño, producción y entrega de los productos o servicios, ya que juegan un papel muy importante en el área industrial. Conseguir ofrecer el mejor producto en el mercado no es ninguna garantía para obtener mayores beneficios que el resto de los competidores. Son necesario, además, muchos otros aspectos para que ese producto llegue a triunfar.

La industria, para conseguir reducir los tiempos y muy ligado a ello los costes de los productos, se ayuda de programas informáticos de diseño (CAD), producción (CAM) y análisis (CAE). El diseño, la fabricación o la ingeniería asistida por ordenador se han convertido, entre otras, en herramientas utilizadas por ingenieros de todo el mundo y de todos los ámbitos imaginables. Cualquier tipo de industria no se concibe sin este tipo de aplicaciones informáticas, sea cual sea el sector al que esté destinado el producto, desde artículos de papelería hasta naves espaciales.

- ❖ Las aplicaciones CAD, cuyas siglas provienen del Inglés “Computer Asisted Design” (Diseño Asistido por Ordenador), permiten a los ingenieros realizar tareas de diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo. Estas aplicaciones se pueden dividir básicamente en programas de dibujo en dos dimensiones (2D) y modeladores en tres dimensiones (3D).
- ❖ Las aplicaciones CAM cuyas siglas provienen del Inglés “Computer Asisted Manufacturing” (Fabricación Asistido por Ordenador) ayudan a los ingenieros en todas las fases de la fabricación de un producto, incluyendo la planificación del proceso y la producción, mecanizado, calendarización, administración y control de calidad, con una intervención del operario mínima.
- ❖ Las siglas de las aplicaciones CAE provienen del Inglés “Computer Aided Engineering” (Ingeniería Asistida por Ordenador). Se denomina así al conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador.

Durante este proyecto se ha hecho uso de programas CAD y CAE, por lo que este capítulo se centrará en ellos especialmente.

Las herramientas CAD tienen infinidad de ventajas, pues gracias a ellas se puede modelar cualquier producto que pueda imaginar un ingeniero. Además, si en el producto final se quiere modificar cualquier pieza, se puede hacer de una manera sencilla y rápida sin tener que rehacer el trabajo entero, por lo que se gana mucho tiempo a la hora de diseñar un producto. Son programas en los que se puede diseñar tanto en 2D como en 3D y permiten al ingeniero ver en todo momento si lo que está haciendo es correcto o no. Normalmente a la hora de diseñar un producto, es necesario crear primeramente unos prototipos con los cuales poder trabajar y modificar todos aquellos parámetros que sean relevantes en el trabajo que se esté realizando. Con estos programas se puede variar la geometría sin mucha dificultad y volver a verificar el producto. De la manera tradicional era necesario crear y crear planos del producto hasta conseguir la

configuración óptima, perdiendo muchísimo tiempo en esta parte del proceso. Con el CAD, este tiempo disminuye considerablemente, e incluso el proyecto final posee una calidad superior ya que se pueden ajustar con mayor precisión las tolerancias. De este modo se puede llegar al mercado en tiempo record y conseguir ventaja frente al resto de competidores.

Normalmente, una vez que se tiene diseñado el producto se le realizan algunas pruebas para comprobar que cumple con la homologación y las expectativas que se marcaron al comienzo del proyecto. Hasta no hace mucho, se construían prototipos con los que poder trabajar físicamente. Esto tenía un inconveniente muy grande y es que había veces que los ensayos tenían un efecto destructivo por lo que una vez terminado ese estudio, el prototipo no servía para realizar otras pruebas y había que construir otros nuevos. Como es lógico, este método era muy caro y llevaba mucho tiempo retrasando la fecha de salida al mercado.

Usando programas CAE se consigue abaratar enormemente el producto además de conseguir reducir los tiempos de diseño y pruebas. Gracias a estos programas el ingeniero puede someter a su producto a todas las sollicitaciones que vayan a poder influir durante su vida y así poder dimensionarlo de tal manera que el cliente obtenga la calidad solicitada. Otras veces, estas sollicitaciones se llevan al extremo para ver hasta qué nivel es capaz de resistir el elemento sin fallar.

Los modelos hechos por ordenador permiten conseguir mayores avances en cualquier ámbito industrial, ya que es posible tomar medidas más arriesgadas e innovadoras durante la fase de diseño, puesto que si esa línea de investigación no resulta adecuada no tiene graves consecuencias en cuanto a tiempo empleado y coste. De la misma manera, un diseño deficiente puede detectarse antes de llegar a la fase de prototipos y puede ser modificado sin que este inconveniente tenga importantes consecuencias.

Los avances que cada día se producen en la informática, tanto en software como en hardware, están permitiendo que los programas de simulación sean cada vez más potentes, que puedan manejar una mayor cantidad de datos y que realicen los cálculos cada vez en menor tiempo. La consecuencia directa es que las simulaciones hechas por ordenador permiten aproximar la realidad considerando un mayor número de variables, disminuyendo el número de simplificaciones de los modelos matemáticos, y por tanto, que las diferencias entre el modelo virtual y el modelo real cada vez sean menores. De esta forma se reduce la distancia entre los resultados obtenidos mediante los ensayos reales de laboratorio y los ensayos realizados por ordenador.

Un ejemplo de lo beneficioso de estas herramientas informáticas es el diseño de los vehículos y las pruebas Crash Test que han de pasar los vehículos para ser homologados y para que puedan circular por las calles de las ciudades. Una vez que se diseña el vehículo en CAD, se pueden realizar todas las pruebas que se deseen al vehículo, gracias a los software CAE, con sólo elegir el archivo inicial y configurar todos los parámetros necesarios para realizar la nueva prueba. Anteriormente se debían construir varios prototipos del vehículo, a veces a escala real, y una vez que se había realizado el Crash Test no volvían a ser útiles. Aún así, es necesario normalmente crear algún prototipo, simplemente para comparar los resultados obtenidos mediante ordenador con los que se obtienen si se realizan las pruebas físicamente y así poder

validar el producto o, en cambio, tener en cuenta las diferencias existentes entre ambos métodos.

3.5.1 TIPOS DE PROGRAMAS

A continuación se realiza una breve descripción de algunos de los programas más utilizados para la simulación de impactos de vehículos.

3.5.1.1 PROGRAMAS DE DISEÑO

Están específicamente pensados para generar la geometría de las entidades involucradas en el accidente.

AUTOCAD

Autodesk AutoCAD es un programa de diseño asistido por ordenador, CAD, para dibujo en 2D y 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk.

Al igual que otros programas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado.

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCAD, a partir de la versión 11, utiliza el concepto de *espacio modelo* y *espacio papel* para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala.

Es en la versión 11, donde aparece el concepto de modelado sólido a partir de operaciones de extrusión, revolución y las booleanas de unión, intersección y sustracción. Este módulo de sólidos se comercializó como un módulo anexo que debía de adquirirse aparte. Este módulo sólido se mantuvo hasta la versión 12, después de ésta, Autodesk adquirió una licencia a la empresa Spatial para su sistema de sólidos ACIS.

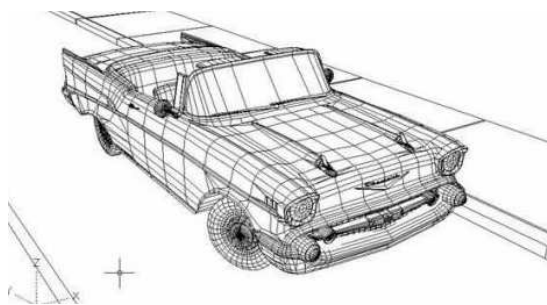


Figura 3.67 – AutoCAD.

SOLID-EDGE

Solid Edge es un programa de diseño asistido por computador, CAD, que apareció en el mercado en 1995 bajo la firma de Intergraph y que desde 1998 se comercializó por Unigraphics.

Como programa de modelado virtual, Solid Edge está especialmente pensado para generar modelos tridimensionales de piezas de conjuntos. Además, incorpora herramientas para la representación plana de estos objetos, que posibilitan la realización normalizada de planos en 2D.

El manejo del programa es muy similar al de otras aplicaciones típicas de ordenadores personales y sus comandos e iconos son muy intuitivos, lo que facilita su aprendizaje y utilización.

Las principales posibilidades que presenta Solid Edge son las siguientes:

- ❖ Creación y edición de piezas en 3D.
- ❖ Ensamblaje de conjuntos.
- ❖ Simulación del movimiento.
- ❖ Creación y edición de planos en 2D.
- ❖ Diseños específicos, como piezas de chapa o soldaduras tridimensionales.

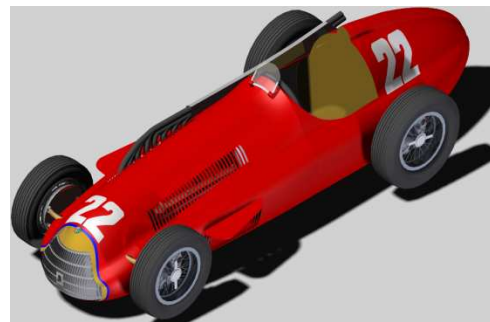


Figura 3.68 – Conjuntos Solid Edge.

La información ha sido extraída de la siguiente referencia bibliográfica. [86]

OTROS PROGRAMAS

- ❖ Catia.
- ❖ Unigraphics.
- ❖ Pro/Engineers

3.5.1.2 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Es posible hacer una clasificación de los programas empleados en función de su base teórica. Dos de las herramientas más empleadas son el método de elementos finitos y el método de multicuerpo.

3.5.1.2.1 MÉTODO ELEMENTOS FINITOS (MEF).

Este método consiste en tomar un elemento continuo y dividirlo, o discretizarlo, en un número finito de elementos. El comportamiento del elemento continuo se obtiene a partir de los parámetros asociados a los nodos, que son los puntos de unión de cada elemento adyacente en los que ha quedado dividido el elemento. De esta forma, es posible tratar el elemento completo a partir de las divisiones finitas como si se tratase de un elemento discreto. Resolviendo los sistemas de ecuaciones únicamente en el número limitado de nodos en los que ha quedado dividido el sistema completo, es posible resolver el problema completo. Las denominadas funciones de forma. Estas funciones especifican de forma matemática el valor de los diferentes parámetros en cualquier punto dentro de un elemento, conociendo únicamente los valores en los nodos que lo delimitan. La utilización del MEF permite la resolución de modelos complejos realizando un mayor o menor número de simplificaciones geométricas y empleando diferentes tipos y tamaños de los elementos en la discretización. Este método permite obtener resultados de gran exactitud, a costa de requerir un proceso de preparación o preproceso largo y laborioso. Además, en general, el tiempo de cálculo es prolongado y las necesidades computacionales son elevadas cuando se simulan sistemas muy complejos o altamente discretizados.

A continuación se detallan algunos de los programas más relevantes de la industria actual que utilizan este método para la resolución de los problemas ingenieriles:

ANSYS

La compañía ANSYS, Inc. fue fundada en 1970. Desde entonces desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo ha adquirido otros softwares para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos.

ANSYS, Inc. es un software de simulación ingenieril cuya primera versión fue programada a finales de 1970. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

Este programa está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física y química.

LS-DYNA

Se trata de un código de elementos finitos de propósito general desarrollado por la empresa LSTC (Livermore Software Technology Corp.) cuya sede central se encuentra en California (EEUU). [2] [36] [76] [124]

Es un software muy completo que permite entre otras, las siguientes soluciones:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| ❖ Dinámica no lineal. | ❖ Choque bajo líquidos. |
| ❖ Dinámica de cuerpos rígidos. | ❖ Acústica en tiempo real. |
| ❖ Simulaciones cuasi-estáticas. | ❖ Optimización de diseños. |
| ❖ Modos normales. | ❖ Remallado adaptativo. |
| ❖ Estática lineal. | ❖ Hidrodinámica de partículas. |
| ❖ Análisis térmico. | ❖ Acoplamiento térmico y |
| ❖ Análisis de fluidos. | estructural. |
| ❖ Análisis de errores. | ❖ Compatibilidad con otros |
| ❖ Propagación de fracturas. | programas como MADYMO. |

LS-DYNA es utilizado en una amplia variedad de industrias y aplicaciones como son por ejemplo:

- ❖ Formación de laminados metálicos, usado en estampación de metales, forja o hidroformación.
- ❖ Industria aeroespacial, empleado en el análisis de fallos y diseño de perfiles.
- ❖ Defensa, utilizado para estudiar la penetración de proyectiles, explosivos, diseño de armas, etc.
- ❖ Ingeniería civil y de terremotos.
- ❖ Diseño de contenedores.
- ❖ Seguridad en el automóvil, usado para conocer el comportamiento del vehículo ante una colisión y el efecto sobre sus ocupantes y para la evaluar la protección de los peatones.

Dispone de librerías con diferentes tipos de materiales o elementos para incluir en los diseños. Además dispone de un módulo específicamente creado para ser usado en aplicaciones de automoción donde se encuentra elementos que facilitan las simulaciones como son:

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| ❖ Cinturones de seguridad. | ❖ Sensores. |
| ❖ Anillas. | ❖ Acelerómetros. |
| ❖ Pretensores. | ❖ Airbags. |
| ❖ Retractores. | ❖ Modelos de Dummy. |

Gracias a los módulos específicos y las posibilidades de adaptación del programa a multitud de aplicaciones es posible realizar simulaciones de los distintos tipos de ensayos de atropello, como son las pruebas basadas en impactadores o los atropellos a escalera real. En las siguientes figuras se incluyen algunos de los ejemplos de la utilización de LS-DYNA como herramienta para simular diferentes ensayos de atropello.

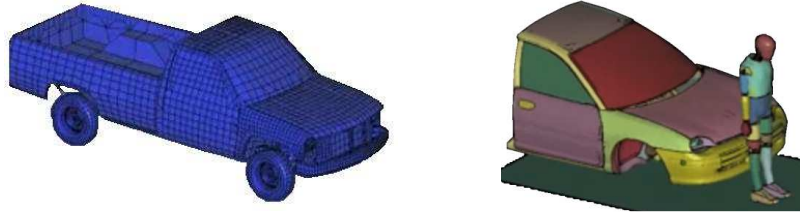


Figura 3.69 - LS-DYNA.

3.5.1.2.2 MULTICUERPOS.

Otra forma de modelar es utilizando multicuerpos. Este método consiste en la simplificación de un sistema más complejo dividiéndolo en cuerpos independientes, unidos entre sí mediante articulaciones. Estos cuerpos suelen ser elipsoides y, en general, se consideran como sólidos rígidos, cada uno de los cuales cuenta con una masa e inercia determinada. Otras propiedades de los cuerpos, como su rigidez (en caso de no considerarse perfectamente rígidos), o el coeficiente de restitución pueden definirse de forma independiente. Las articulaciones o uniones entre los diferentes cuerpos pueden ser esféricas, cilíndricas, lineales, universales, planas, de revolución...pudiendo definirse el grado de resistencia al movimiento que ejerce la unión. Cada cuerpo está unido a otro a través de estas articulaciones, consiguiendo que el sistema multicuerpo posea un gran número de grados de libertad. Por esta razón, la posición y orientación de uno de los cuerpos del multicuerpo está relacionada con la posición y orientación del cuerpo adyacente ya que tiene un punto en común que suele corresponder con el centro de la articulación. El empleo de modelos multicuerpo puede considerarse también como una forma de discretizar un sistema continuo, aunque con esta operación en general se consigue una discretización menor. Aunque este tipo de modelado está basado en simplificaciones de sistemas más complejos, la definición de las ecuaciones del movimiento y su resolución son procesos complejos. Aún así, este método es muy utilizado ya que supone una solución muy equilibrada entre exactitud de los resultados y tiempo de cálculo necesario.

Uno de los sistemas que más habitualmente se modela empleando multicuerpos es el cuerpo humano. [98] [99]

A continuación se indican y se describen brevemente algunos de los programas más empleados en la simulación de los ensayos de atropello. Algunos son programas de simulación de propósito general usados en ingeniería, mientras que otros han sido desarrollados para este fin específico. Una cualidad que caracteriza a estos programas es la posibilidad de importar modelos de un software a otro con los cuales poder complementar las simulaciones. También pueden incluir módulos de los otros programas en su propio código para poder simular alguna situación en concreto. De esta forma es posible, mediante el empleo de un sólo programa acceder a un mayor número de funciones que son propias de otros programas.

MADYMO

Se trata de software de referencia de simulación en todas aquellas aplicaciones relacionadas con la seguridad en el automóvil y la protección de las personas. MADYMO es un producto de la empresa holandesa TASS (TNO Automotive Safety Solutions), cuyo nombre es el acrónimo de Mathematical Dynamic Models. [118]

Se trata de un potente software que combina la posibilidad de realizar modelos de simulación usando el método de elementos finitos o multicuerpo, así como modelos mixtos empleando los dos métodos. Esta ha hecho que sea prácticamente el estándar utilizando en el análisis de la seguridad de los ocupantes de los vehículos de departamentos de ingeniería y estudios de diseño, laboratorios de investigación o universidades.

MADYMO dispone de una amplia biblioteca de elementos como barreras deformables, airbags y crash test dummies que pueden ser usados directamente en las simulaciones ya que han sido convenientemente validados a través de ensayos reales de laboratorio. El programa abarca todas las facetas de la seguridad en el automóvil en caso de impacto, como son los choques frontales, laterales, traseros o vuelcos, permitiendo realizar simulaciones de todos ellos. También permite la realización de ensayos en subsistemas de los vehículos como los airbags o los cinturones de seguridad, o de impactadores en ensayos de atropello.

La base de datos de dummies de MADYMO está compuesta por más de 70 individuos, que cubren los diferentes tipos de crash test dummies utilizados en los ensayos, implementados tanto en multicuerpos como en elementos finitos. En las últimas versiones MADYMO incorpora un nuevo tipo de Dummy, que consiste en un multicuerpo de formas suavizadas, en lugar de formato por elipsoides, que recibe el nombre de multicuerpo facetado. Estos nuevos dummies combinan características de los multicuerpos y los elementos finitos, resultando un óptimo balance entre exactitud, estabilidad y velocidad de cálculo. Además permiten conocer mejor el contacto de los cuerpos con las diferentes partes del vehículo.

MADYMO permite realizar todo tipo de ensayos de atropello, tanto los basados en impactadores, los cuales están incluidos en la biblioteca de dummies, como los ensayos a escala real. Además de los dummies disponibles, como cualquier otro programa, permite crear nuevos dummies, tanto de elementos finitos como multicuerpos, o modificar los ya existentes fácilmente. Esto, sumando a la posibilidad de obtener una gran cantidad de datos de las simulaciones, lo convierte en una de las herramientas de simulación más utilizadas para la simulación de atropellos. Por otra parte, MADYMO incorpora dentro de su postprocesador la posibilidad de obtener los principales índices de lesiones que se producen durante el ensayo, como es el HIC (Head Injury Criterion), con lo que se facilita el análisis de los resultados.

Otra de las grandes ventajas que presenta MADYMO es la posibilidad de acoplamiento con otros programas de simulación, como son LS-DYNA, RADIOSS o ABAQUS, PAM-CRASH, y la incorporación de módulos incluidos en programas como PC-CRASH.

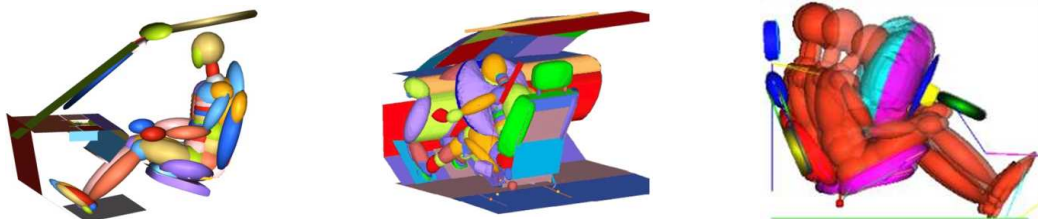


Figura 3.70 – MADYMO.

PC-CRASH

Se trata de un programa de reconstrucción de accidentes de tráfico de la empresa austríaca DSD [33] [109]. Se trata de unos de los programas más empleados por los expertos en reconstrucción de accidentes de tráfico, como pueden los peritos de seguros o judiciales, miembros de la Policía Local o el ERAT (Equipo de Reconstrucción de Accidentes de Tráfico) de la Guardia Civil. Mediante este programa es posible simular cualquier tipo de accidente de tráfico gracias a sus diferentes bases de datos de vehículos, y a la posibilidad de reproducir diferentes escenarios, tanto urbanos como de carretera. Además de emplear los vehículos, que son tratados como sólidos, el programa incorpora un módulo de multicuerpos. Esta característica aumenta las posibilidades de simulación, ya que permite un mejor modelado de los peatones y hace posible la simulación de atropellos con la garantía de obtener resultados válidos.

Gracias al módulo de tratamiento de multicuerpos es posible obtener un mayor número de parámetros, como resultado de las simulaciones, como son las posiciones, aceleraciones, velocidades o fuerzas de contacto sobre cada uno de los cuerpos del multicuerpo.

Una cualidad destacable de PC-CRASH es la inclusión de un módulo de MADYMO consistente en un conjunto formado por ocupante, asiento y sistema de retención, que puede ser combinado en los vehículos de las simulaciones para comprobar los posibles efectos del accidente en los ocupantes.

A pesar de que la principal aplicación de PC-CRASH es la simulación de colisiones entre vehículos para emplearse en la reconstrucción de accidentes, el empleo de los multicuerpos lo hace igual de válido para la simulación de atropellos de peatones o ciclistas. De hecho, el programa PC-CRASH y su módulo de multicuerpo ha superado con éxito las pruebas de validación de su modelo de peatón en pruebas de atropello. A pesar de que MADYMO es la herramienta más utilizada para la simulación de atropello, PC-CRASH ha demostrado que puede ser empleado también para este fin, obteniendo resultados globales cercanos a los de MADYMO.

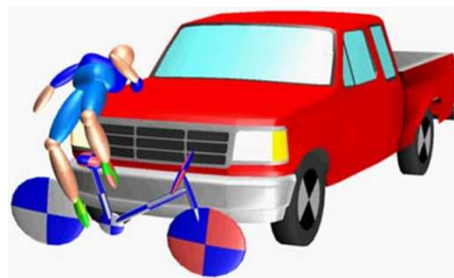


Figura 3.71 - PC-CRASH.

PAM-CRASH

Se trata de un programa de la empresa francesa ESI-GROUP, y puede ser considerado como la referencia entre los programas de simulación de pruebas de choque en el mundo. Decenas de fabricantes de automóviles usan este programa, basado en el método de los elementos finitos y sólidos, para reducir el ciclo de desarrollo de un nuevo modelo, al permitir prescindir de muchos ensayos de choque reales para poder validar el diseño. [39]

Al no tratarse de un programa de propósito general, las únicas aplicaciones donde se utiliza son aquellas relacionadas con la seguridad en caso de choque, aunque no solo en el sector del automóvil, sino que también en el aerospacial, marítimo o en otro tipo de transporte terrestre como el tranvía o trolebús.

La especialización de este programa para ensayos de tipo crash, permite realizar de forma rápida y eficiente los diferentes tipos de crash test al disponer de bibliotecas con algunos de los elementos utilizados en las pruebas, como son las barreras deformables. A pesar de que la función principal de este programa es observar el comportamiento de la estructura del vehículo en caso de impacto, detectando los posibles puntos de fallo, también puede usarse en el desarrollo de la seguridad del interior de los vehículos.

Con respecto a los ensayos de atropello, PAM-CRASH permite realizar los diferentes ensayos de atropello con impactadores.

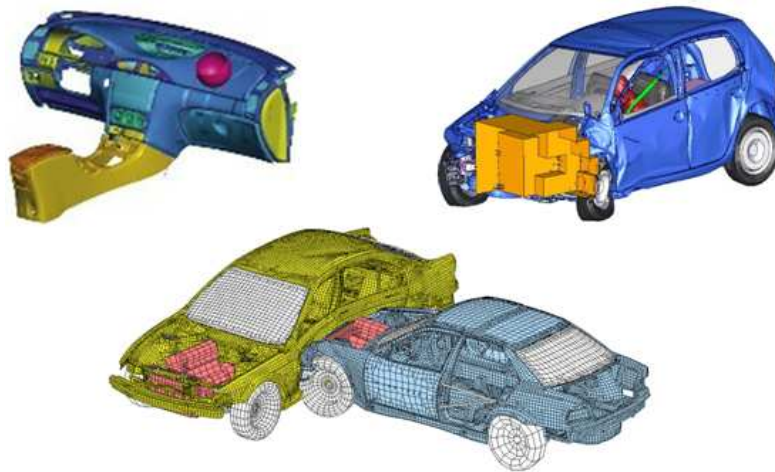


Figura 3.72 - PAM-CRASH.

OTROS PROGRAMAS

Existen otros muchos programas que pueden ser usados para la simulación de ensayos de atropello, tanto de impactadores como de dummies. La mayoría son programas de elementos finitos de propósito general como por ejemplo:

- ❖ ABAQUS.
- ❖ RADIOSS.
- ❖ ADAMS.
- ❖ NASTRAN.
- ❖ HVE.
- ❖ ALGOR.



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

4 PREPARACIÓN DE LAS SIMULACIONES

4.1 INTRODUCCIÓN AL MODELADO

Antes de comenzar a modelar por ordenador un sistema es necesario considerar diferentes aspectos, pues de un mismo sistema real se pueden obtener diferentes modelados y todos válidos. Aun así, es necesario definir los principales aspectos para hacer un sistema efectivo y eficiente que a la hora de simular cumpla todas las expectativas que se desean y ofrezca unos resultados precisos.

- ❖ Determinar el sistema a simular: es el primer paso antes de iniciar el proceso de simulación, puesto que se trata de definir el sistema que va a ser modelado y los elementos que formarán parte del mismo. En este caso, el sistema que se quiere modelar es un vehículo todoterreno, con y sin defensa, y un dummy.
- ❖ Alcance de la simulación: el siguiente aspecto a considerar es la información que se pretende obtener de la simulación. Éste es también un factor muy importante ya que de él depende, entre otras cosas, el método de modelado empleado en la simulación y el nivel de simplificación utilizado en el sistema completo, o en algunos de los elementos. Este Proyecto Fin de Carrera pretende acercarse al estudio de la influencia que tiene la defensa de un todoterreno al atropellar a un peatón y la agresividad de las lesiones que puede llegar a producir en la persona. Es por ello que no es necesario reproducir fielmente el vehículo completo sino que bastará con modelar la geometría del vehículo, con mayor precisión en la zona delantera porque será en donde se produzca la colisión entre vehículo y dummy. Es más, se obviará la zona trasera del vehículo pues no tiene influencia alguna sobre este estudio y esta simplificación permite disminuir el coste computacional. Sobre el modelado de la persona, se ha decidido modelar un dummy de los que se usan en las pruebas EuroNCAP, pues recrear de forma fiel el cuerpo humano elevaría notablemente el coste computacional y, además, la información obtenida no sería mayor ni más precisa.
- ❖ Programa utilizado: a partir de las decisiones anteriores se selecciona, entre los diferentes programas disponibles, el más adecuado para realizar la simulación según ha sido definida. En ocasiones, el propio programa y sus características técnicas, y limitaciones, puede hacer que algunos de los aspectos de la simulación deban ser modificados para que ésta pueda llevarse a cabo sin problemas. En otras, la disponibilidad del programa es el factor más importante de los enunciados, influyendo en las decisiones sobre el sistema a simular y el alcance de la simulación. Se ha optado por realizar el modelado con el programa Solid Edge. Es un programa del que se

dispone de licencia en la Universidad, y que satisface de manera excelente lo que se requiere para modelar los dos sistemas definidos con anterioridad. Otro motivo por el que se ha decidido utilizar este software CAD es porque es perfectamente compatible con el programa de simulación, CAE, que se usará en la siguiente fase de análisis dinámico del sistema.

PROGRAMA EMPLEADO

El software que se ha empleado para modelar tanto el vehículo como el dummy ha sido Solid Edge -Velocity Series-. Aunque actualmente existen varias versiones superiores, se ha usado la versión 19, del año 2006, la cual está a disposición de los alumnos de la Universidad Carlos III de Madrid. Se trata de uno de los programas más utilizados para el modelado de piezas y conjuntos en 2D y 3D. Se basa en una interface gráfica, de ventanas y menús, que puede ser utilizado en una plataforma PC, ya que no requiere un hardware excesivamente potente. Este programa permite diseñar cualquier tipo de pieza de manera sencilla, aunque para su dominio completo se requiere de cierto nivel de experiencia. En la siguiente figura se muestra la pantalla principal del programa.

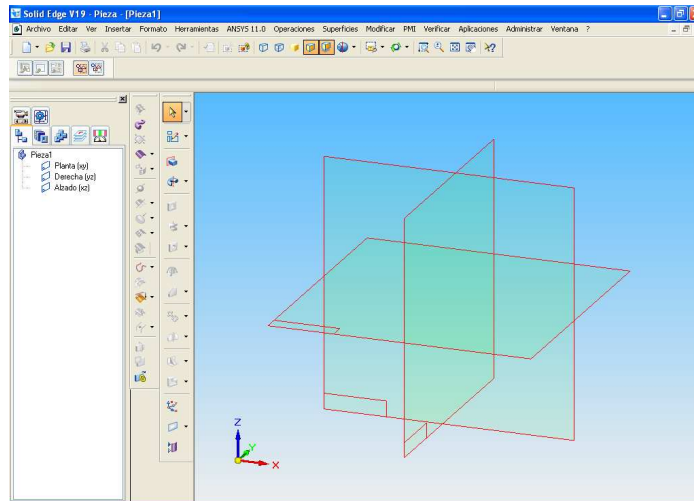


Figura 4.1 - Pantalla principal Solid Edge.

4.1.1 EL VEHÍCULO

ELECCIÓN DEL COCHE

Después de hacer un pequeño análisis de los vehículos existentes en el mercado actual en el campo de los todoterrenos se ha elegido el vehículo Mercedes-Benz clase M



Figura 4.2 – Vistas del vehículo elegido: Mercedes-Benz clase M [87]

Los motivos por los que se ha elegido este todoterreno son los expuestos a continuación:

- ❖ Se ha consultado la base de datos de EuroNCAP donde quedan reflejadas las puntuaciones que han conseguido cada uno de los vehículos al ser sometidos a todas las pruebas. El vehículo elegido es uno de los que han conseguido mayor valoración dentro de la categoría elegida en el apartado Adult y Child pero al igual que el resto, en el apartado Pedestrian es bastante deficiente. Con ello, queda patente que estos vehículos no están diseñados teniendo en cuenta lo perjudiciales que pueden llegar a ser al atropellar a una persona.

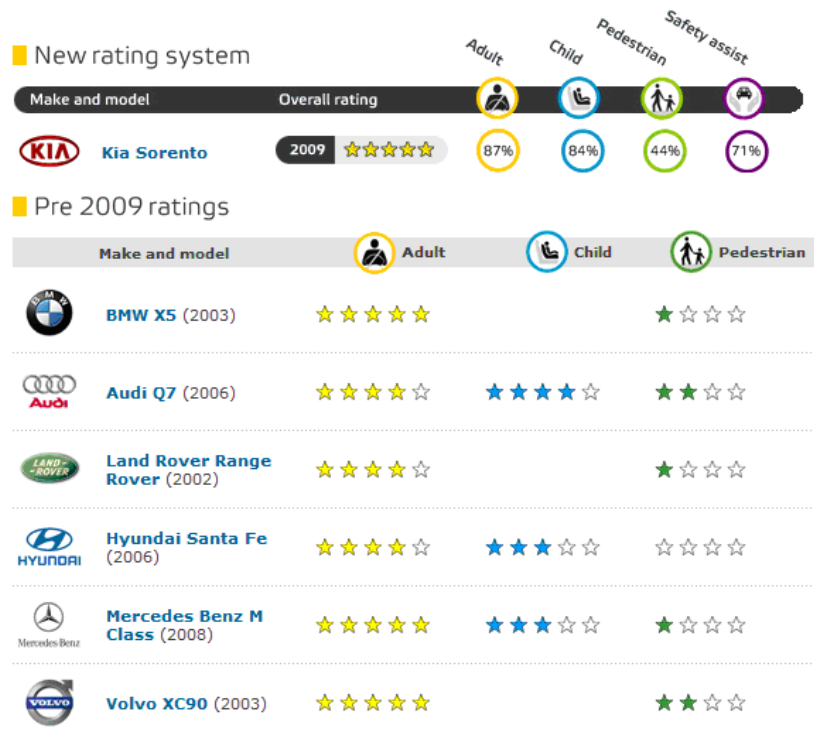


Figura 4.3 - Comparativa pruebas EuroNCAP entre todoterrenos. [42]

Los resultados detallados que ha obtenido el Mercedes-Benz M en las pruebas EuroNCAP según la normativa anterior al 2009 son los siguientes:

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

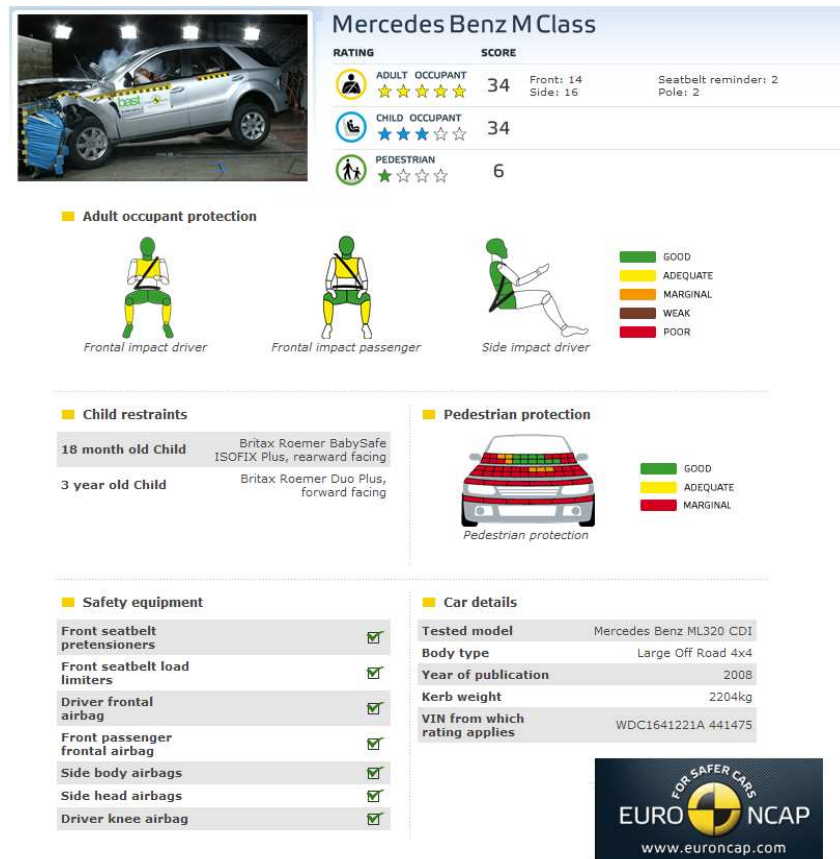


Figura 4.4 - Puntuación pruebas EuroNCAP para Mercedes-Benz clase M. [42]

- ❖ Otro de los motivos que ha llevado a la elección de este coche es que el número de este tipo de vehículos en los últimos años ha crecido en las carreteras españolas aumentando la probabilidad de que un peatón sea atropellado por uno de ellos. Es necesario e importante conocer la agresividad con la que se presentan ante un atropello para que en el futuro los ingenieros muestren más interés y se invierta más recursos para aumentar la seguridad de los peatones y se diseñen vehículos más adaptados a las exigencias sociales modernas.

MÉTODO DE MODELADO

A la hora de modelar cualquier pieza, en este caso un vehículo, es necesario conocer qué finalidad tiene el modelo y los recursos de los que se dispone como pueden ser el tiempo y el nivel computacional que nos ofrece los ordenadores personales actuales. Se empezará exponiendo las simplificaciones que se van a tomar y su justificación y posteriormente se detallará el procedimiento que se ha seguido para modelar el vehículo elegido.

El vehículo que se va a modelar se va a utilizar para realizar simulaciones de atropello por lo que no es necesario reproducirlo fielmente. En cuanto al interior del vehículo, el habitáculo, es obvio que no interesa puesto que el peatón no va a interactuar con ningún componente que lo compone en un accidente de atropello. En cuanto al chasis se refiere, la armadura del coche, no será necesario modelarlo fielmente porque se aumentaría considerablemente la complejidad de sistema y la simulación

tardaría bastantes días en realizarse. Otro motivo por el cual no se ha tenido en cuenta el chasis es porque los fabricantes de vehículos no ofrecen este tipo de información, (geometría, materiales, uniones...) al público sino que lo mantienen como secreto empresarial. Esta parte de los vehículos juega un papel muy importante en los accidentes de tráfico, tanto que está en continua evolución permitiendo que sean capaces de absorber la mayor energía posible de la colisión, liberando de ésta a los ocupantes del automóvil. En los atropellos, donde la diferencia de masas entre el peatón y el vehículo es grande, el chasis pasa a un segundo plano. Por ello, se ha dado mayor importancia y más dedicación a la carrocería ya que es la parte del vehículo que va a interactuar con el peatón.

Por otro lado, se pretende disminuir la carga de cálculo en el momento de la simulación para conseguir disminuir el tiempo empleado. En un atropello frontal, como el que se estudia, las partes que van a interactuar del vehículo serán las localizadas en la parte delantera del automóvil (parachoques, capó, faros, parabrisas...) por lo que se prescindirá de la mitad trasera del vehículo.

En los atropellos, hasta no hace mucho tiempo, el hecho de que el peatón golpeará fortísimamente en el capó podía producir graves lesiones por el hecho de la deformación producida en la chapa. Hay que recordar que bajo la chapa que define al capó se encuentran multitud de elementos mecánicos que componen la dirección, suspensión y el motor. Al deformarse el capó, es muy posible que el peatón llegue a golpear contra un cuerpo rígido como es el motor, que al no deformarse tanto no absorbe tanta energía disminuyendo la agresividad del impacto. Hoy en día, se han creado capós activos que al presenciar una colisión se elevan aumentando esa distancia entre la chapa y el motor. En el estudio que se va a realizar en este Proyecto no va a ser necesario reproducir el bloque motor y sus componentes ya que se va a centrar en los primeros momentos de la simulación, donde sólo impactan las extremidades inferiores.

Por lo tanto, sólo se modelará la primera mitad del vehículo dando importancia a la geometría exterior del automóvil, la carrocería, la cual será creada mediante superficies.

Partiendo de estas premisas, se ha procedido a la creación del vehículo.

Como ha sido imposible obtener las medidas exactas que definen la carrocería del Mercedes-Benz Clase M, ya que estos datos nunca salen de la empresa, se ha optado por realizar la geometría partir de las proyecciones que tiene el vehículo en alzado, perfil y planta. Las vistas se han obtenido del catálogo oficial de la marca [87]. En ellas, aparecen las cotas más representativas que definen el vehículo por lo que se podrá llevar a cabo el modelado de una manera bastante aproximada. En la siguiente imagen se puede observar las cuatro vistas encontradas.

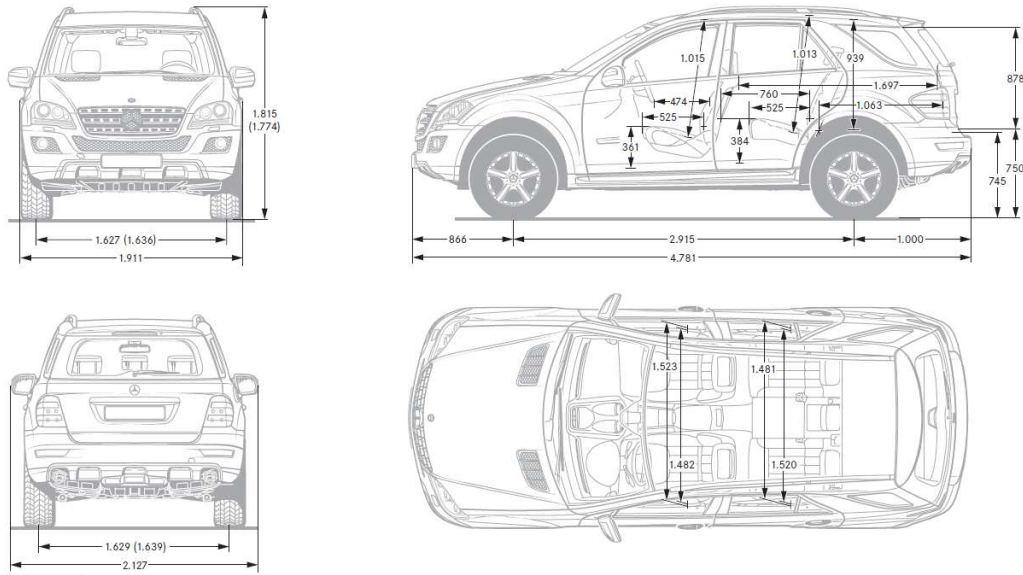


Figura 4.5 - Planos Mercedes-Benz clase M.

El método consiste en colocar de manera muy precisa las vistas en los planos correspondientes del sistema diédrico. Trazando rectas horizontales y verticales a partir de las proyecciones de un mismo punto se podrá definir a la perfección el punto en el espacio. Este proceso se repetirá tantas veces como sea necesario para definir la carrocería.

Solid Edge cuenta con una herramienta de superficies llamada Bluesurf, que permite realizar diferentes secciones de una pieza, en este caso un vehículo y la trayectoria que debe seguir para pasar de una a otra.

Una vez colocadas las proyecciones del vehículo en los planos del diédrico como se observa en la imagen (a) se procede a realizar las divisiones en la mitad delantera del vehículo. Para ello se han representado mediante bocetos las líneas intersección de los planos paralelos al plano YZ con los planos XY y XZ del diédrico, como queda reflejado en la imagen (b). En los planos que han quedado definidos por esas rectas intersección, será donde posteriormente se dibujará cada sección del coche. Como es lógico, ha sido necesario trabajar mucho más la parte delantera del vehículo ya que en esa zona la variación entre las secciones anterior y posterior es radical mientras que en la zona central, las secciones son más uniformes y no ha sido necesario crear más divisiones. Con ello se consigue que el modelado del vehículo sea más exacto y realista. En las imágenes (c) y (d) se muestra el siguiente paso. En cada una de las líneas intersección se han localizado mediante pequeños círculos, a modo de marca, los puntos clave que definen la geometría. Al ser simétrico el vehículo, sólo ha sido necesario señalar los puntos de una mitad, imagen (d), pues una vez obtenidos los puntos en el espacio, con la herramienta simetría de la que dispone Solid Edge, se obtendrá de inmediato la otra mitad. Para obtener los puntos del espacio, se han trazado en cada sección rectas horizontales y verticales desde las proyecciones de un mismo punto. El punto del espacio queda definido en el lugar donde ambas rectas se cortan. El mismo método ha sido seguido por cada punto y cada sección. Una vez definidos todos los puntos del espacio en una mitad de la sección se procedió a unirlos mediante boceto de tal forma que las curvas se ajustaran a la silueta del vehículo lo máximo posible.

Cuando ya se generó la mitad de la silueta en la sección se creó la otra mitad mediante la simetría.

Cuando se tuvieron cada una de las secciones necesarias del vehículo, imagen (e), se usó la herramienta bluesurf para unir las, tal y como se explicó con anterioridad, creando de este modo la superficie que define la carrocería del todoterreno, imagen (f).

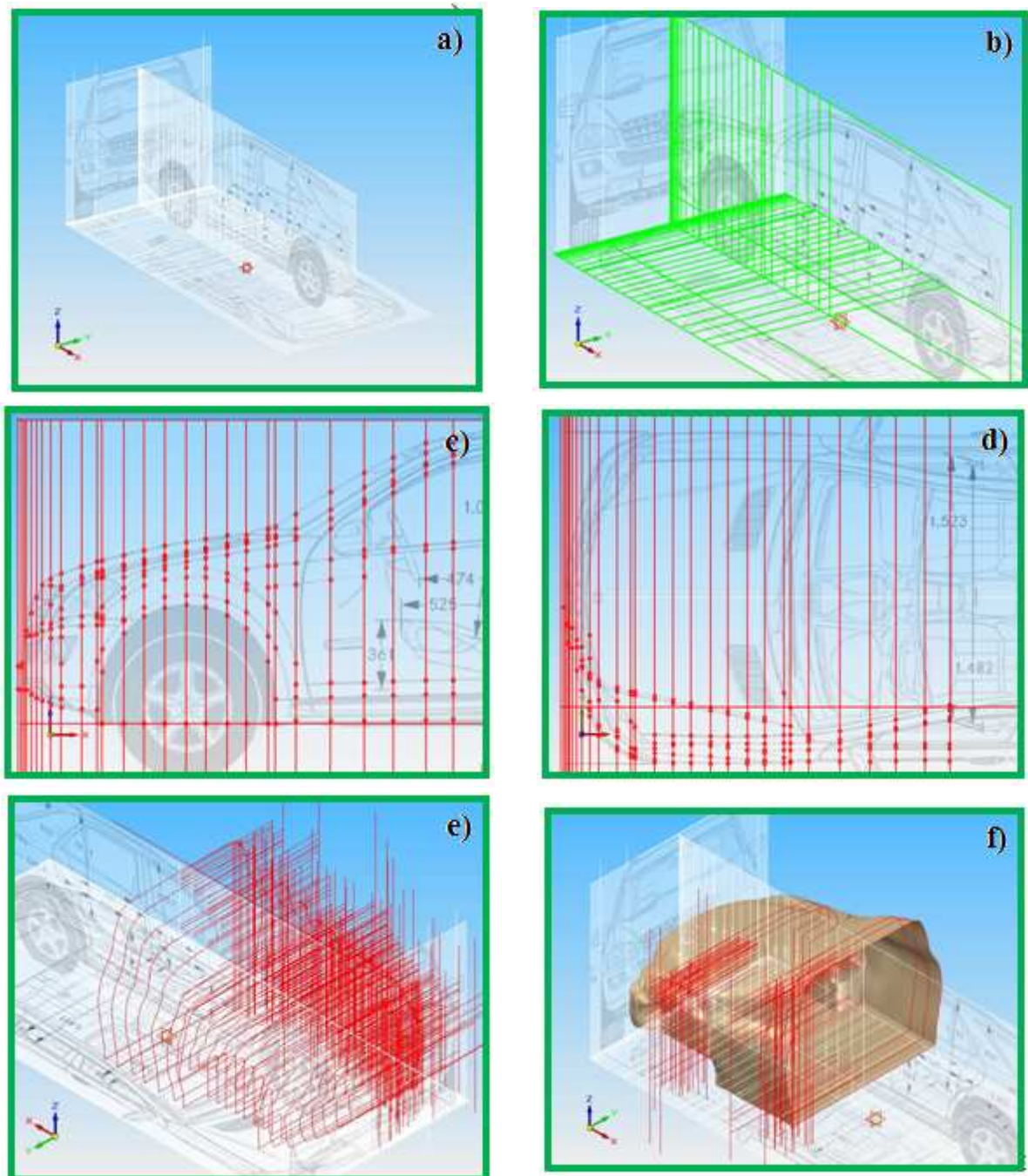


Figura 4.6 - Proceso modelado vehículo.

Aunque el coche ya ha sido modelado, no está preparado para poder realizar simulaciones de atropello. Ahora, la carrocería la conforma una única superficie por lo que no se podrá posteriormente asociar materiales y espesores diferentes a distintas zonas del vehículo. Es necesario dividir la superficie consiguiendo separar las zonas

más características como son: parachoques, bastidor, faros, radiador, capó, laterales, cristales y techo. Para ello se ha procedido de la siguiente forma. En un plano paralelo al plano de alzado, se ha calcado la geometría de cada una de las partes representadas (parachoques, faros, capo, luna). Después, gracias a otra herramienta del Software se ha proyectado las curvas del boceto sobre la superficie del vehículo, quedando diferenciadas cada parte del vehículo. A continuación, se fueron seleccionando cada una de las curvas que definen cada parte del vehículo y con otra herramienta se recortaron, separando cada zona de la superficie general. Al final se obtuvo la misma superficie que en un primer momento pero no unida sino dividida en cada una de las partes elementales del vehículo. En la siguiente figura se aprecian los bocetos iniciales y cómo al proyectar y recortar quedan divididos los elementos.

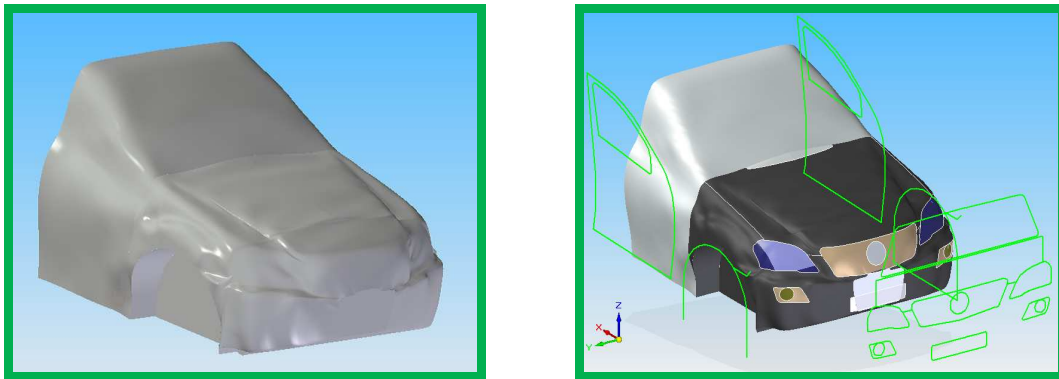


Figura 4.7 - Proceso proyección y recorte de superficies.

Tras haber separado cada superficie, la primera versión del vehículo está preparada para poder exportarla al siguiente software.

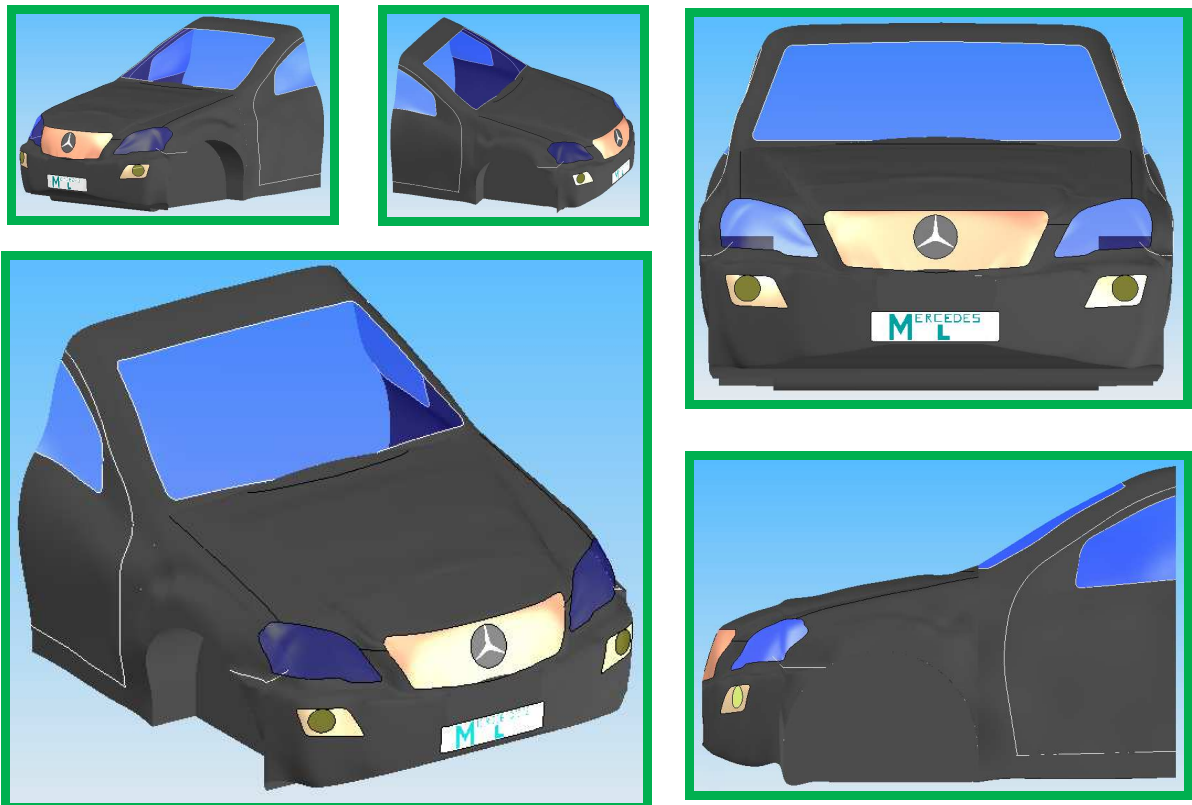


Figura 4.8 - Vistas vehículo modelado - Sin defensa.

Para la segunda versión, es necesario añadir la defensa. Para ello, se han tomado como referencia las defensas que existen en el mercado [14]. El método de modelado se ha realizado mediante el barrido de una sección a lo largo de una trayectoria definida como se aprecia en las siguientes imágenes.

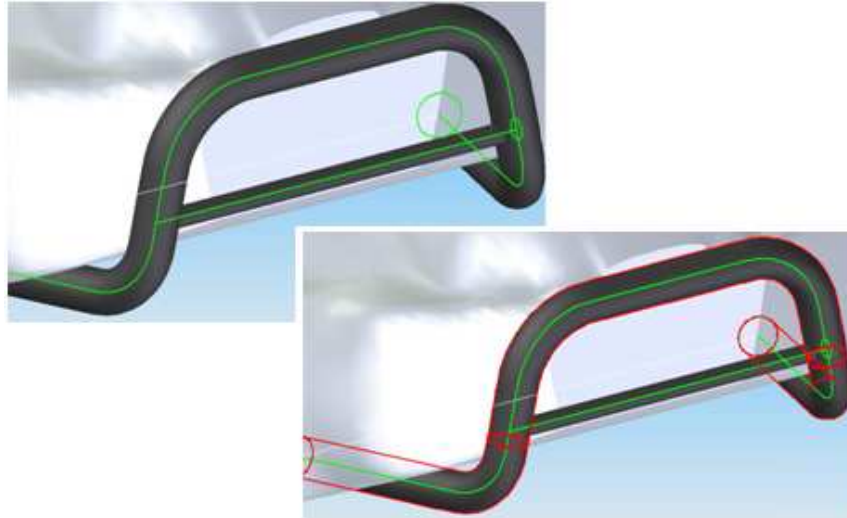


Figura 4.9 - Modelado de la defensa.

En la siguiente imagen se muestra el vehículo al completo con la defensa integrada.

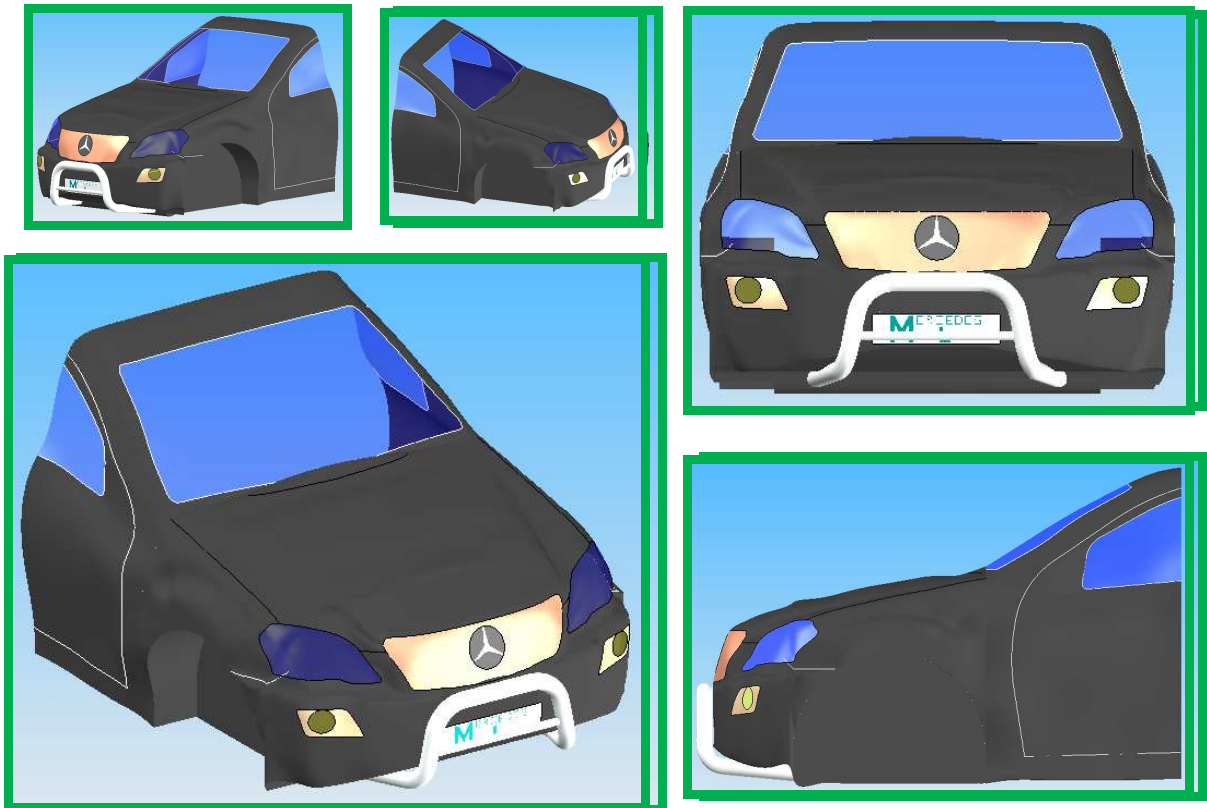


Figura 4.10 - Vistas vehículo modelado - Con defensa.

Aunque se ha hecho distinción entre el vehículo con y sin defensa anteriormente, cuando se esté trabajando en la simulación únicamente se exportará el vehículo con

defensa y sin algunos detalles visuales que se le había añadido en las imágenes anteriores (estrella de Mercedes-Benz, matrícula y luces antiniebla), ya que aumentarían el nivel computacional y no dan información alguna acerca del estudio que se quiere realizar.

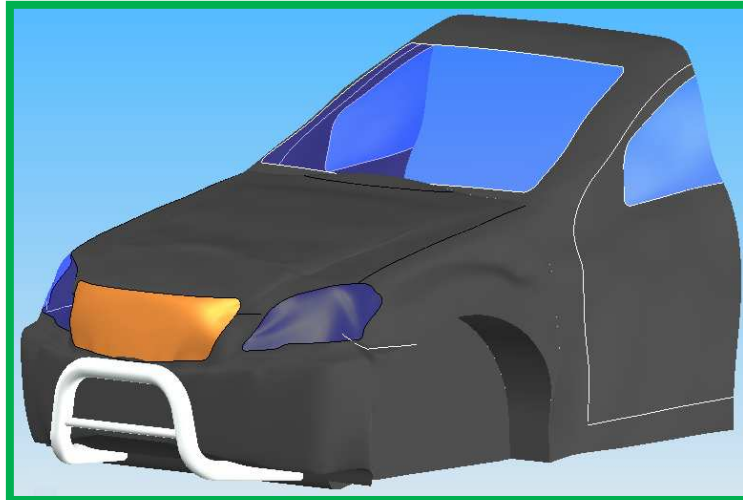


Figura 4.11 - Vehículo modelado preparado para ANSYS LS-DYNA.

4.1.2 EL DUMMY

Antes de comenzar a modelar el dummy en Solid Edge se hizo una investigación para ver si en la biblioteca del LS-DYNA (programa que se utilizará más adelante para simular los diferentes sistemas) existían ya dummies creados. Encontrar un dummy que sirviera iba a facilitar enormemente el proceso puesto que no haría falta modelarlo, ni hacer un estudio sobre las características y parámetros más relevantes (medidas del cuerpo humano, parámetros de los materiales del cuerpo humano (músculos, huesos...), articulaciones...) que pudieran intervenir e influenciar en un atropello.

LS-DYNA cuenta en su biblioteca con varios dummies creados pero ninguno de ellos sirve para la simulación que se va a llevar a cabo. Como se puede observar en la figura de abajo se tratan de dos dummies ideados para simulación de accidentes de tráfico pero en el interior del habitáculo. Uno de los dummies es rígido mientras que el segundo es deformable. [78]



Figura 4.12 - Dummies LS-DYNA.

No existiendo en la biblioteca ningún dummy que pueda servir para el estudio que se está acometiendo, será necesario modelarlo. A continuación se explica cómo se ha llevado a cabo.

Modelar el cuerpo humano tal y como es, con su estructura ósea, músculos, órganos, articulaciones... no es viable y carece de sentido por varios motivos en el estudio que se está llevando en este Proyecto Fin de Carrera. Aún así, obtener las propiedades de los materiales que componen el cuerpo humano es muy difícil y sólo las empresas que hayan ensayado con el cuerpo humano conocen como se comportan según los esfuerzos a los que están sometidos. Por este primer motivo, es obvio que no se va a modelar el cuerpo humano de manera realista.

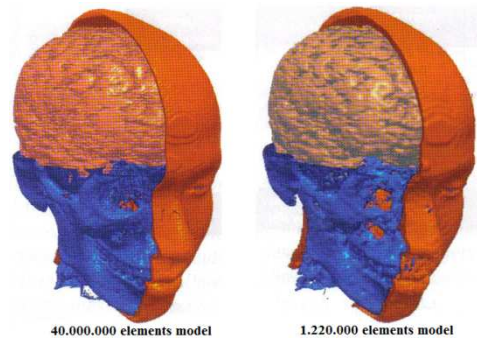


Figura 4.13 - Comparación entre el modelo completo y el modelo reducido

Como en este estudio se ha simplificado el vehículo con el que se va a atropellar, tampoco es necesario crear un peatón lo más realista posible. Además, los ordenadores de los que se disponen para llevar a cabo el estudio no son lo suficientemente potentes para una simulación de tales características. Un ejemplo de ello es que en la Universidad de Seikei se llevó a cabo un estudio sobre las lesiones que sufría la cabeza en un accidente frontal, para ello, modelaron la cabeza de un ser humano al máximo detalle. Cuando quisieron realizar la simulación se dieron cuenta que su modelo, que constaba de 40.000.000 de elementos, era demasiado grande y sus ordenadores no eran lo suficientemente potentes y tardarían mucho en obtener los resultados. Tuvieron que reducir su modelo a 1.220.000 elementos para poder simular su sistema. [116]

Por tanto, lo que se hará es tomar como referencia un peatón modelado con programas multicuerpo, como puede ser MADYMO, y crear el peatón en Solid Edge siguiendo un proceso similar al que se siguió con el vehículo. En las siguientes dos figuras se muestra el dummy referencia que se ha elegido y como se han dispuesto en los planos de proyección.

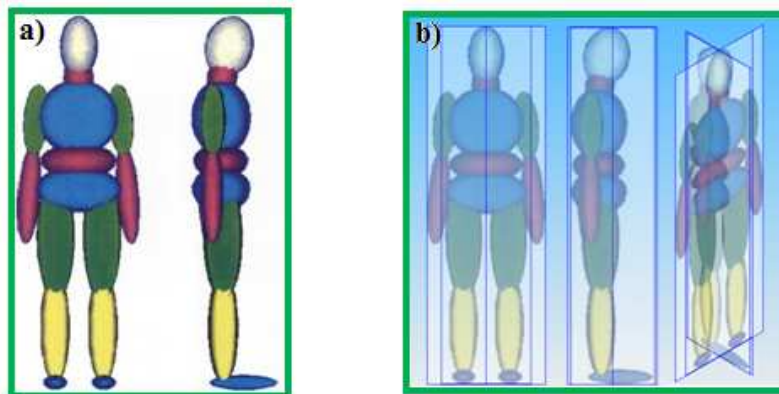


Figura 4.14 - a) Vistas dummy de referencia. b) Vistas del dummy en los planos del diédrico

Por la propia geometría del dummy, se ha optado por crearlo como sólido rígido en vez de una superficie. Esto es debido a que se quiere representar que en su interior están los huesos, músculos y órganos. Para esta simulación se requiere que el dummy sea articulado, al menos en las zonas críticas que puedan influir de manera determinante en la cinemática del accidente.

Al no haber modelado la columna vertebral, el tronco del dummy sería totalmente rígido por lo que se optó por dividirlo en tres bloques: el tórax, el abdomen y la pelvis. Ésto confiere al dummy una cierta movilidad, importante para el desarrollo del atropello y más todavía en las lesiones que pueda sufrir el dummy. El resto de articulaciones como son el cuello, hombros, codos, coxo-femorales rodillas y tobillos se han dibujado mediante rótulas como se puede apreciar en la siguiente imagen.

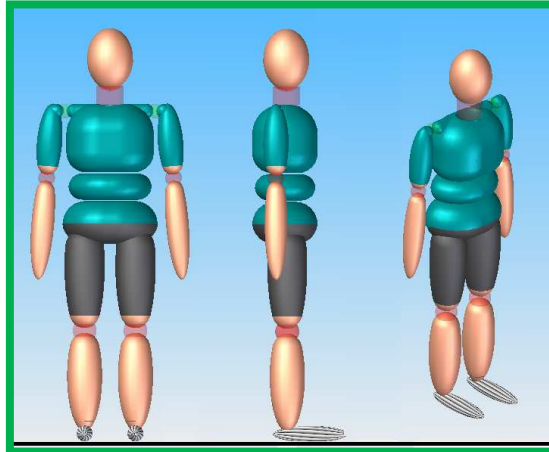


Figura 4.15 - Dummy con rótulas.

Aunque el dummy queda más completo con las rótulas, bien es cierto que en la simulación no van a aportar datos relevantes y por tanto, se pueden eliminar sin cometer grandes alteraciones en los resultados. Lo mismo les pasa a los pies, no son una parte activa durante el impacto, si acaso en el postimpacto cuando golpee el cuerpo contra el suelo u objetos. Las únicas articulaciones que no se han eliminado son el cuello y las coxo-femorales ya que juegan un papel muy importante en el desarrollo de la colisión y de las lesiones en la cabeza y en la pelvis respectivamente. El dummy simplificado y con el que se trabajará en las simulaciones es el siguiente.

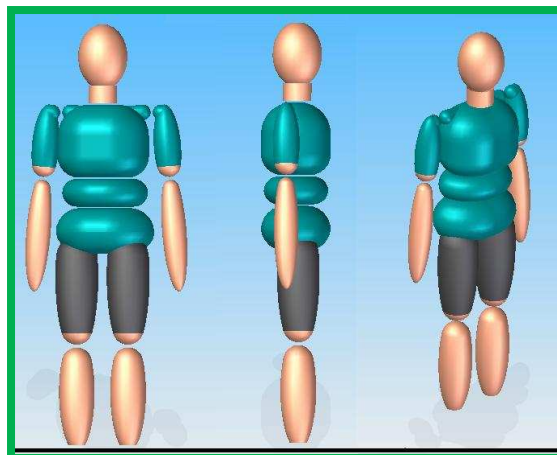


Figura 4.16 - Dummy simplificado.

Todas las partes del cuerpo humano están conectadas unas a otras mediante articulaciones, permitiendo la movilidad de cada una de ellas de manera independiente. En el dummy modelado, han sido creadas las partes del cuerpo humano pero no se han conectado, obteniendo una sola entidad. En el programa de simulación se unirán.

4.2 INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

Una vez modelados el coche y el dummy, se está en disposición de realizar la segunda fase del proyecto, la cual es la más importante pues es en la que se centra este Proyecto Fin de Carrera. Como ya se ha comentado consiste en conocer de qué modo afecta en un atropello la defensa que pueda llevar un todoterreno cualquiera que circula por las calles de una ciudad.

Como ya se ha explicado anteriormente, en un accidente de tráfico, y en particular en un atropello, son muchos los parámetros que influyen y que alteran considerablemente el modo de producirse y los daños producidos a las personas. Estos parámetros están relacionados tanto con el vehículo como con la persona atropellada y pueden ser: la velocidad del automóvil; posición respecto de la persona; si está frenando, acelerando o sigue a velocidad constante; geometría del vehículo; extras en los vehículos (defensas); estatura de la persona; edad de la persona; posición frente al coche...

En este estudio se pretende conocer no sólo como afecta la defensa en un vehículo todoterreno sino también conocer las diferencias que aparecen entre simular el mismo sistema con un dummy virtual o por un impactador de fémur como los que son usados en las pruebas EuroNCAP.

PROGRAMA EMPLEADO

Para realizar las diferentes simulaciones se ha hecho uso de un software muy potente, ANSYS LS-DYNA. Se trata de un software muy conocido y muy empleado en las industrias de hoy en día y que abarca muchas áreas por lo que se puede afrontar con él muchos problemas del mundo real.

Se ha llevado a cabo este estudio con dicho programa porque la Universidad Carlos III de Madrid cuenta con licencia y el programa está a disposición del alumno. La versión que se ha utilizado ha sido la V-10.

LS-DYNA ha sido desarrollado por LSTC, cooperación de tecnología de software de Livermore en California, Estados Unidos. LSTC fue fundada en 1986, sin embargo, el comienzo de LS-DYNA se remonta a los primeros 70's.

LS-DYNA es un programa basado en elementos finitos capaz simular y analizar fenómenos físicos altamente no lineales. Normalmente esos fenómenos incorporan grandes deformaciones dentro de una duración de poco tiempo, por ejemplo, simulaciones de comportamiento al choque. Por otra parte LS-DYNA proporciona muchas características de lo que lo convierte en una herramienta muy potente para resolver una amplia gama de aplicaciones. Las aplicaciones principales son el comportamiento al choque (buque de automóviles, camiones, autobuses, construcción, trenes, aviones). Otras aplicaciones podrían ser análisis de carga límite o la seguridad de edificios después de un terremoto o después de un impacto (avión).

Los resultados de las simulaciones, pueden ser presentados de distintas formas:

- ❖ Salida gráfica de diferentes diagramas que relacionan magnitudes como deformación, aceleración o tensión con el tiempo.
- ❖ Visualización en 3D de la simulación, así como la posibilidad de exportarla en formato video.
- ❖ Obtención de los principales parámetros y datos de la simulación, en diferentes instantes de tiempo, en formato de texto, pudiendo ser exportados a cualquier otra aplicación.

Por estas razones, se ha decidido que LS-DYNA reúne todos los recursos necesarios para realizar este estudio.

En la siguiente figura se muestra la ventana principal:

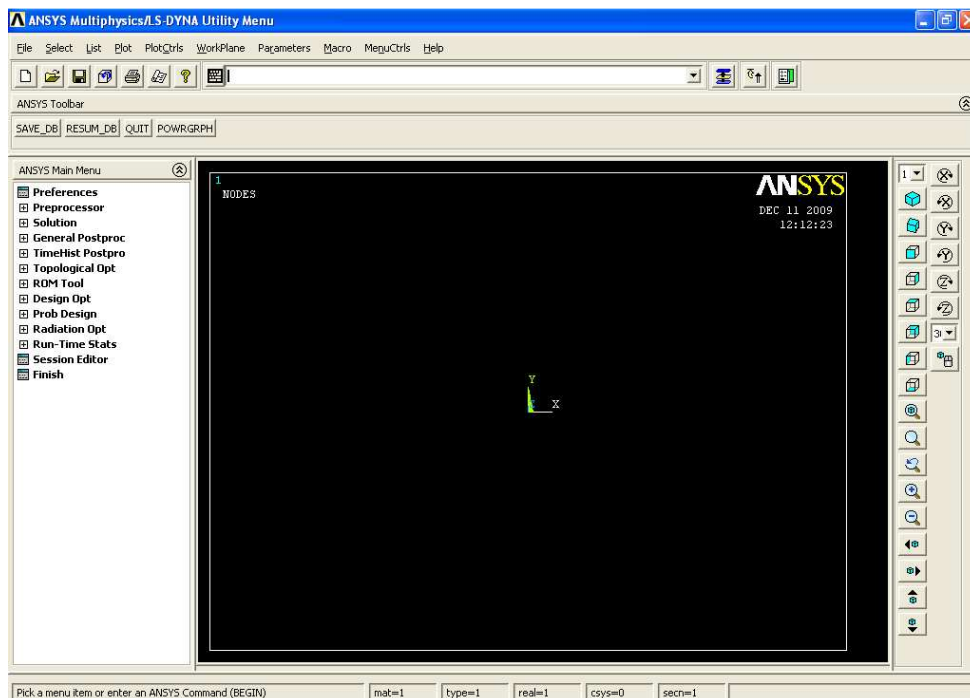


Figura 4.17 - Ventana principal ANSYS LS-DYNA.

4.2.1 SIMULACIONES

Para conseguir los objetivos marcados en este estudio se van a realizar diferentes simulaciones, en concreto cuatro. Todas ellas han sido realizadas bajo los mismos parámetros, a continuación se explicará el proceso.

Las cuatro simulaciones que se han realizado se han clasificado en dos bloques:

- ❖ Primer bloque:
 - Primera: Simulación del sistema dummy-coche con defensa.
 - Segunda: Simulación del sistema dummy-coche sin defensa.
- ❖ Segundo bloque:
 - Tercera: Simulación del sistema impactador-coche con defensa.
 - Cuarta: Simulación del sistema impactador-coche sin defensa.

El primer bloque corresponde a aquellos casos en el que el vehículo impacta con el dummy mientras que en el segundo bloque, el todoterreno colisiona con el impactador de pierna. Ambos bloques tienen en común la preparación del vehículo por lo que se comenzará a trabajar con él. Una vez listo, servirá de base para el resto de casos. En las simulaciones en el que el vehículo no lleva defensa, segunda y cuarta, se eliminará la geometría y todos aquellos parámetros asociados a la misma.

4.2.1.1 PRIMER BLOQUE: VEHÍCULO Y DUMMY

4.2.1.1.1 PRIMERA SIMULACIÓN

La preparación de la primera simulación servirá de base para el resto de simulaciones. Es por ello que se detallará detenidamente cada uno de los aspectos relevantes para la preparación de la simulación. En el resto de simulaciones se especificará los cambios y los nuevos aspectos a tener en cuenta.

Sin detenerse más, se pasa a explicar el proceso de carga de elementos y datos necesarios en el software para poder llevar a cabo la primera de las simulaciones.

Una vez modelado el vehículo en Solid Edge es necesario exportarlo a LS-DYNA. Para ello, es necesario guardar el archivo generado por el primer programa en formato IGES, ya que este formato es el cual hace de puente entre dichos software. Teniendo el archivo en el formato apropiado se realiza la importación al programa de simulación. Existe una opción en LS-DYNA que permite esta operación como se muestra en la siguiente figura.

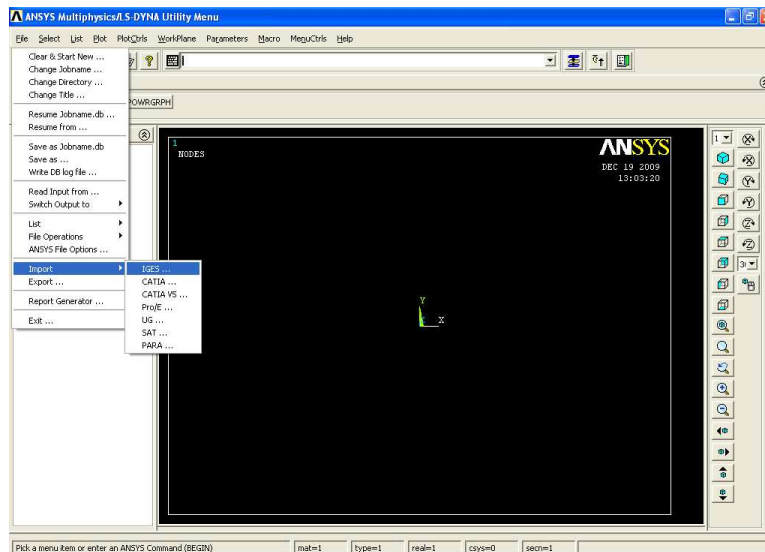


Figura 4.18 – Ventana ANSYS LS-DYNA para importar archivos.

El vehículo importado se muestra en la siguiente figura:

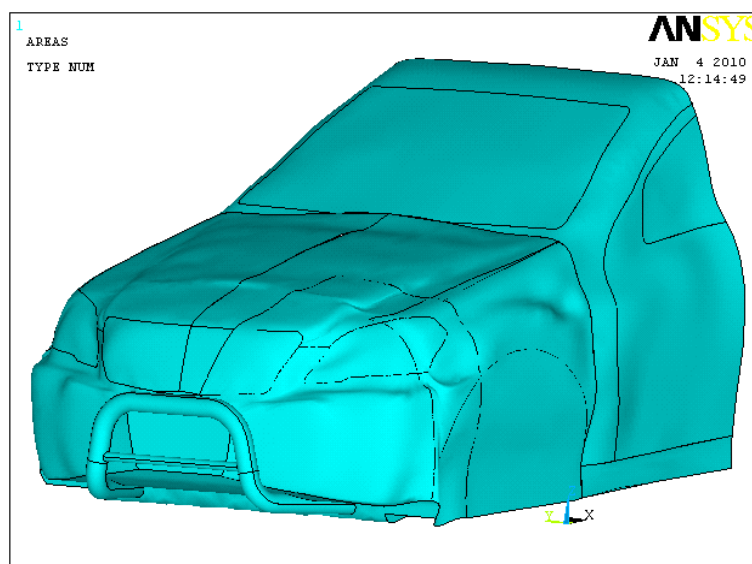


Figura 4.19 – Vehículo importado

Es necesario realizar distintas operaciones para que el vehículo esté listo para trabajar con él. Esto es debido a que al importarlo se han creado líneas y superficies solapadas que posteriormente darán problemas a la hora de ejecutar la simulación. Es necesario eliminar todas las imperfecciones. Aun así, no basta ya que además de las líneas se crearon pequeñas superficies en el vehículo cuando se realizó la separación de superficies (partes del vehículo), que dificultarán a posteriori el mallado. Debido a la complejidad de restauración del vehículo se decidió eliminar una mitad del vehículo y restaurar la otra mitad. Una vez terminado este trabajo, se procederá mediante la herramienta de simetría que incorpora ANSYS LS-DYNA a crear la otra mitad, la cual quedará perfectamente unida a la primera. El vehículo ya está dispuesto para preparar la simulación.

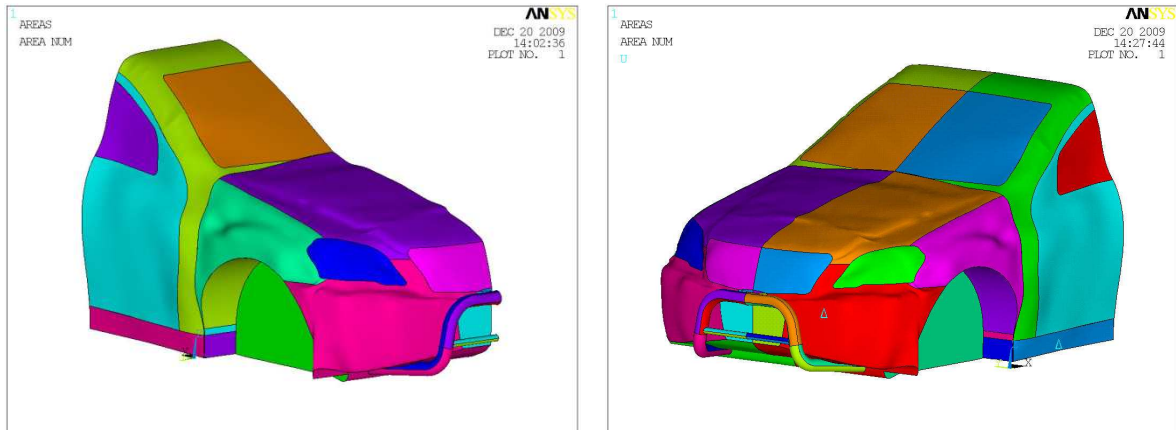


Figura 4.20 – Mitad del vehículo (izda.) y creación de la simetría (dcha.).

Las siete superficies que se han diferenciado en el vehículo son las siguientes:

- ❖ Cristales
- ❖ Parachoques
- ❖ Radiador
- ❖ Chapa
- ❖ Capó
- ❖ Bastidor
- ❖ Defensa

Una vez preparada la geometría, puede empezarse a programar la simulación.

TIPO DE ELEMENTO

En primer lugar se deberá crear el tipo de elemento con el que se trabajará. Como se trata de la carrocería del vehículo, se introducirá un elemento superficie, en concreto “Thin Shell 163”.

Tabla 4.1 - Tipo de elemento vehículo.

Número	Parte	Tipo de elemento
1	Vehículo	Thin Shell 163

Este tipo de elemento, Thin Shell 163, consta de cuatro nodos como se puede comprobar en la figura: I, J, K, L.

Cada uno de los nodos presenta los siguientes grados de libertad debido a los desplazamientos y rotaciones: U_x , U_y , U_z , ROT_x , ROT_y , ROT_z .

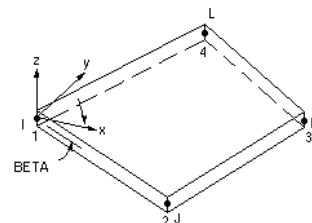


Figura 4.21 – Elemento Thin Shell 163

En la siguiente figura se muestra la ventana en la cual se está trabajando.

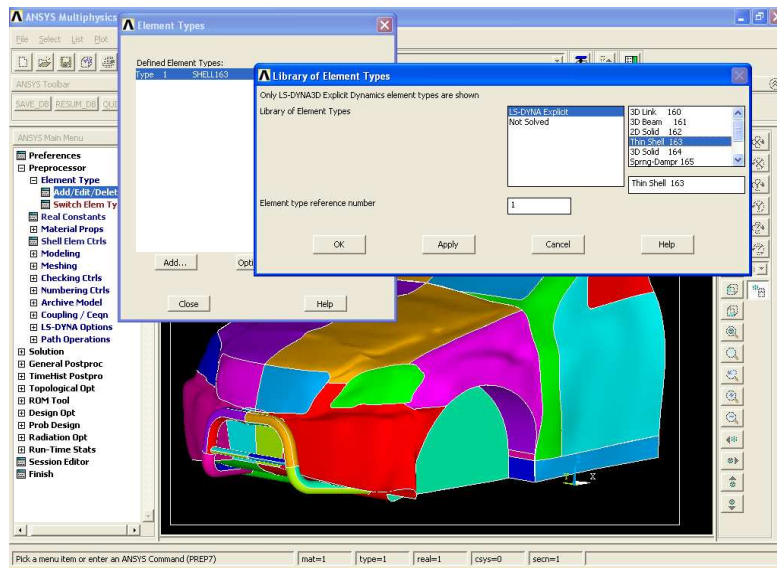


Figura 4.22 – Ventana ANSYS LS-DYNA elección elemento.

CONSTANTES REALES

El siguiente paso será crear las constantes reales, los espesores de cada una de las superficies que componen el vehículo. Como el vehículo ha sido modelado de manera muy simplificada, ya que sólo se reprodujo la carrocería obviando el chasis y sus elementos integrantes, es necesario simular su existencia para que los resultados sean coherentes y realistas. A continuación, se abordará cada una de las zonas del vehículo, razonando los espesores que se han definido en cada una de ellas.

❖ **Cristales:** En este punto se han incluido los faros, las ventanillas y la luna delantera. Puesto que en caso de colisión violenta, el peatón va a impactar con la luna delantera, se ha elegido un espesor estándar de las lunas en el mercado actual, 3mm.

❖ **Parachoques:** Se trata de la parte frontal del vehículo. Tras ella, se encuentra las vigas que forman el bastidor del vehículo, el motor y todos sus componentes. Para simular la existencia de todos ellos se ha elegido un espesor superior al que suelen tener los parachoques reales. El espesor escogido es 3mm.

❖ **Radiador:** Se trata de la parte central del frontal del coche. La parte de carrocería que lo recubre está diseñada mediante láminas que tienen como finalidad conducir el aire hacia el radiador. En la parte trasera del radiador se encuentra tanto el motor como todos sus componentes. Se trata además de una zona delicada desde el punto de vista del atropello por lo que es necesario reproducir la rigidez de esta zona. Por ello se ha definido con un espesor, también un poco sobredimensionado, con un valor de 3mm.

❖ **Chapa:** Esta sección engloba a todas las partes del vehículo que no han sido definidas en una sección aparte. Se trata de aquellas zonas del vehículo que no juegan un papel importante en la colisión frontal con un peatón. Las zonas son las siguientes: el techo, las aletas laterales y las puertas. Al no ser zonas relevantes se ha elegido un grosor de chapa de 3mm englobando a todas.

❖ **Capó:** Superficie metálica que recubre el motor. Como ya se argumentó en un apartado anterior, al efectuarse un atropello frontal a una velocidad con la que se va a realizar la simulación, el peatón no impactará con el capó deformándolo hasta chocar con el bloque motor, aumentando la rigidez brutalmente. El espesor será de 3mm.

❖ **Bastidor:** se trata de la estructura compleja formada por vigas y travesaños que soportan la carrocería, el motor y las suspensiones. Esta estructura no sólo está diseñada para soportar los esfuerzos creados por los componentes del vehículo sino que debe estar sobredimensionada y diseñada para soportar los sobreesfuerzos provocados en una colisión. Como en el vehículo modelado se ha simplificado a una única superficie, se ha aumentado el espesor hasta un valor de 5mm con la intención de simular la existencia de la estructura.

❖ **Defensa:** Se trata de un elemento muy resistente acoplado al bastidor y que recubre el frontal del todoterreno que tiene como función aumentar la resistencia del vehículo frente a un impacto. Por ello, se ha seleccionado un espesor de 5mm.

En la siguiente tabla quedan resumidos todos los espesores:

Tabla 4.2 - Constantes reales para el vehículo.

Real Constant	Parte	Espesor
1	Cristales	3 mm
2	Parachoques	3 mm
3	Radiador	3 mm
4	Chapa	3 mm
5	Capó	3 mm
6	Bastidor	5 mm
7	Defensa	5 mm

En la siguiente figura se muestra las ventanas en las que se está operando en el LS-DYNA.

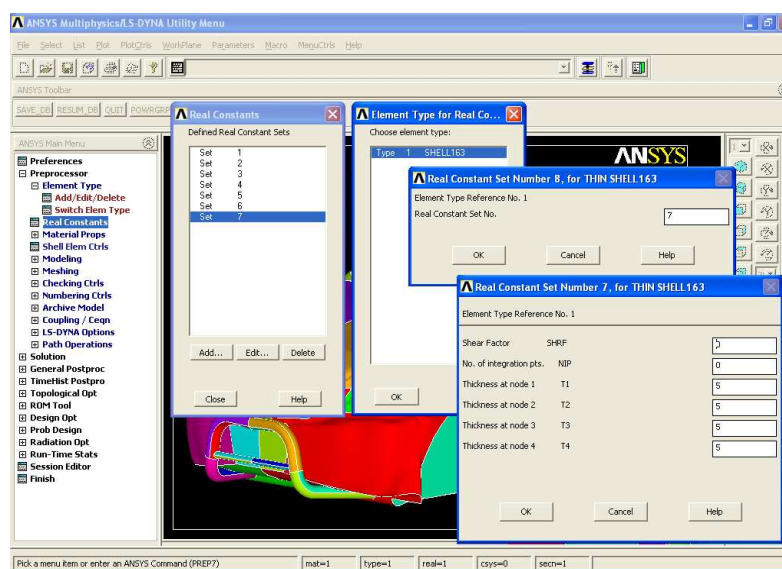


Figura 4.23 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir constantes reales.

MATERIALES

La elección de los materiales con los que se va a definir cada una de las partes del vehículo es un tema arduo, ya que los fabricantes de vehículos no ofrecen dicha información y, además, son muchos los materiales que pueden llegar a definir una misma zona del vehículo. Debido a esta complejidad se ha optado por definir los cristales con un único material y el resto del todoterreno con otro. En posteriores estudios se podrán modificar las propiedades de los materiales en cada zona y analizar la influencia en las lesiones causadas al peatón en un atropello. Se comenzará seleccionando el correspondiente a los cristales y posteriormente la carrocería [13] [64].

Cristales:

El material del que están hechas las ventanillas de los coches y la luna delantera es completamente diferente. Mientras que las ventanillas están fabricadas con vidrio de seguridad templado (ESG), las lunas son de vidrio de seguridad laminado (VSG). Que estén fabricadas de diferente material es debido a por motivos de seguridad en caso de colisión. Si el vehículo ha sufrido un accidente no es muy deseable que la luna delantera, de gran tamaño, se rompa en pequeños pedazos puntiagudos impactando contra los ocupantes del coche y produciendo sobre ellos una metralla de cristales ocasionando lesiones muy graves en los ocupantes del automóvil, sobre todo en la zona de la cara. Para que eso no ocurra los ingenieros idearon un tipo de vidrio en cuyo interior se aloja una fina película plástica adhiriendo ambas caras del vidrio (VSG), de esta forma, en caso de rotura, los pedazos se quedarán pegados en la lámina sin impactar en las personas. En cambio, en las ventanillas este tipo de material no es útil pues no desempeña una función de seguridad tan importante como en el caso anterior y además aumentaría el coste ya que los vidrios VSG son más caros que los ESG. En las ventanillas se suele utilizar un tipo de vidrio templado que es más barato. Los vidrios templados son aquellos vidrios que al producir sobre ellos una fuerza superior a la tensión de rotura, se parten en pedazos muy pequeños, pero lo más importante es que las aristas de estos trozos no son angulosas sino que están redondeadas con el objetivo de que si impacta con el cuerpo de las personas no tengan tanta facilidad para clavarse. [64].

En el estudio que se está realizando juega un papel más importante la luna delantera por lo que los valores escogidos para englobar todos los cristales son:

Tabla 4.3 - Material de los cristales.

Material	Parte	Parámetros	Valores
1	Cristales	Densidad	$2,18 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
		Módulo elástico	$6,8 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
		Nuxy	0,19
		Límite elástico	300 N/mm^2
		Módulo tangente	100 N/mm^2

El modelo de material elegido para definir los cristales es “LS-DYNA – Nonlinear – Inelastic - Inelastic – Kinematic Hardening – Plastic Kinematic”. Este modelo tiene un comportamiento no lineal, inelástico plástico. Los valores han sido introducidos en la siguiente ventana del LS-DYNA:

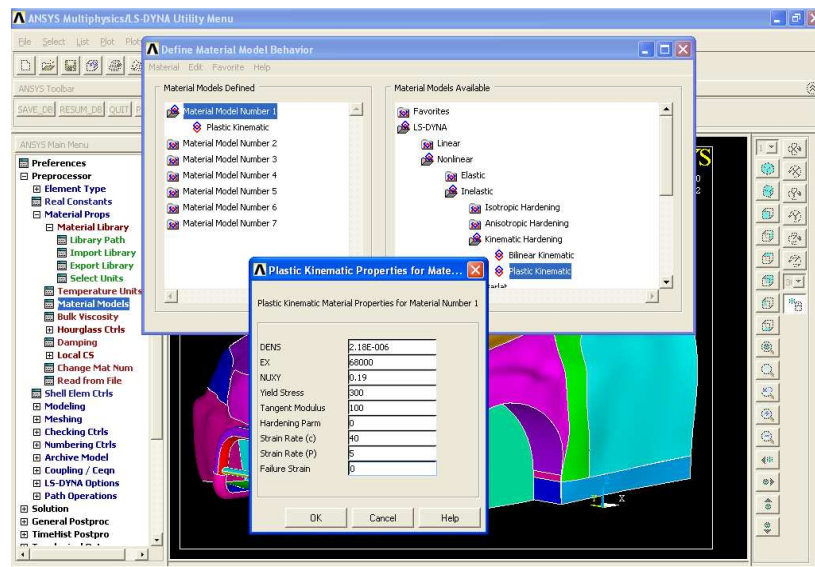


Figura 4.24 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir las propiedades del material correspondiente a los cristales.

Carrocería:

Obtener los materiales que usan los fabricantes de vehículos para cada uno de los componentes del vehículo es tarea imposible. Las casas de coches no sacan a la luz nada referente al diseño de los mismos a no ser que sea una revolución en el mundo del motor y aun así se guardan para ellos muchísimos secretos. Uno de los motivos principales por lo que se decidió simplificar el vehículo no fue otro que la dificultad para recoger la información suficiente como para realizar un vehículo lo más realista. En los tiempos que corren, tanto el bastidor como la carrocería de los vehículos están muy estudiados para absorber todos los esfuerzos de la manera más eficaz disminuyendo la agresividad de la colisión. No sólo crean estructuras innovadoras (se ha hecho referencia a ellas en un capítulo anterior de este proyecto) sino que además investigan sobre nuevos materiales que soporten mejor los esfuerzos o de la manera deseada según el diseño de los dispositivos que lleve adjunto el vehículo.

Centrándose en los materiales de la carrocería lo que se ha hecho ha sido caracterizar todas las partes del vehículo con el mismo material. Tras realizar un amplio estudio sobre qué tipo de materiales son los utilizados para este tipo de aplicaciones no se obtuvieron todos los datos necesarios por lo que se ha recurrido a usar un acero común, acero 4027 normalizado, cuyas propiedades se encuentran resumidas en la tabla de abajo, con el que poder tener un primer acercamiento al mundo de la simulación de los atropellos [83].

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

AISI 4027 Steel, normalized, 14 mm (0.55 in.) round			
Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	650 MPa	94300 psi	
Tensile Strength, Yield	425 MPa	61600 psi	
Elongation at Break	25.5 %	25.5 %	in 50 mm
Reduction of Area	60.2 %	60.2 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.290	0.290	Calculated
Machinability	70 %	70 %	annealed and cold drawn. Based on 100% machinability for AISI 1212 steel.
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000245 ohm-cm	0.0000245 ohm-cm	Typical 4000 series steel
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.475 J/g·°C	0.114 BTU/lb·°F	Typical 4000 series steel
Thermal Conductivity	44.5 W/m·K	309 BTU-in/hr·ft ² ·°F	Typical steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.25 - 0.30 %	0.25 - 0.30 %	
Iron, Fe	98.08 - 98.7 %	98.08 - 98.7 %	
Manganese, Mn	0.70 - 0.90 %	0.70 - 0.90 %	
Molybdenum, Mo	0.20 - 0.30 %	0.20 - 0.30 %	
Phosphorous, P	<= 0.035 %	<= 0.035 %	
Silicon, Si	0.15 - 0.35 %	0.15 - 0.35 %	
Sulfur, S	<= 0.040 %	<= 0.040 %	

Figura 4.25 – Ficha técnica del acero elegido para el vehículo.

Aunque en este caso todas las partes del vehículo están definidas con un mismo material, es necesario diferenciarlas para que en futuros estudios se puedan variar las propiedades del material de cada zona del automóvil de manera independiente y tras una nueva simulación analizar la influencia en un atropello (este estudio quedará abierto para posibles investigaciones futuras).

En la tabla de la izquierda se recoge el número del material que corresponde a cada zona del vehículo. En la tabla de la derecha se refleja los valores del material elegido.

Tabla 4.4 - Materiales de cada parte del vehículo.

Material	Parte
2	Parachoques
3	Radiador
4	Chapa
5	Capó
6	Bastidor
7	Defensa

Tabla 4.5 – Propiedades material carrocería.

Parámetros	Valores
Densidad	7,8·10 ⁻⁶ kg/mm ³
Módulo elástico	2,05·10 ⁵ N/mm ²
Nuxy	0,29
Límite elástico	425 N/mm ²
Módulo tangente	763 N/mm ²

Del mismo modo que antes, el modelo de material escogido es “LS-DYNA – Nonlinear – Inelastic - Inelastic – Kinematic Hardening – Plastic Kinematic”. Este modelo tiene un comportamiento no lineal, inelástico plástico. Los valores han sido introducidos en el software en la siguiente ventana de:

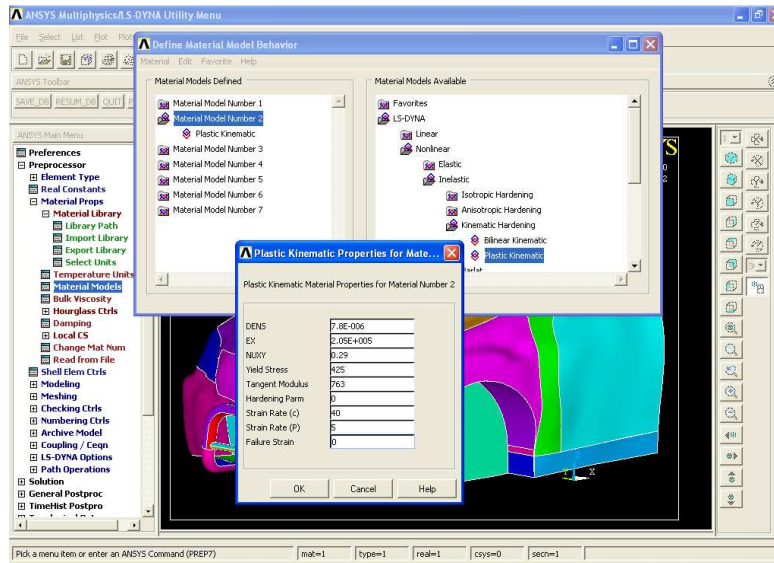


Figura 4.26 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir las propiedades de los materiales correspondientes a cada parte del vehículo.

MALLADO y CREACIÓN DE PARTS Y COMPONENTS

Una vez introducidos todos los parámetros correspondientes al vehículo en el software, se realizará el mallado de cada parte del vehículo y posteriormente se crearán los parts y components que servirán para definir los contactos.

El mallado del vehículo se ha llevado a cabo en cada parte del vehículo por separado. La secuencia para realizar dicho proceso es la siguiente:

❖ Primeramente asignar a la superficie un tipo de elemento, una constante real y un material, definidos anteriormente.

En la siguiente tabla quedan resumidos todos los parámetros que se han de introducir en el programa para cada parte del vehículo:

Tabla 4.6 – Parámetros introducidos en LS-DYNA para el vehículo.

Parte	Tipo elemento	Constante real	Material
Cristales	1	1	1
Parachoques	1	2	2
Radiador	1	3	3
Chapa	1	4	4
Capó	1	5	5
Bastidor	1	6	6
Defensa	1	7	7

Estos valores han de ser introducidos en la siguiente ventana del LS-DYNA.

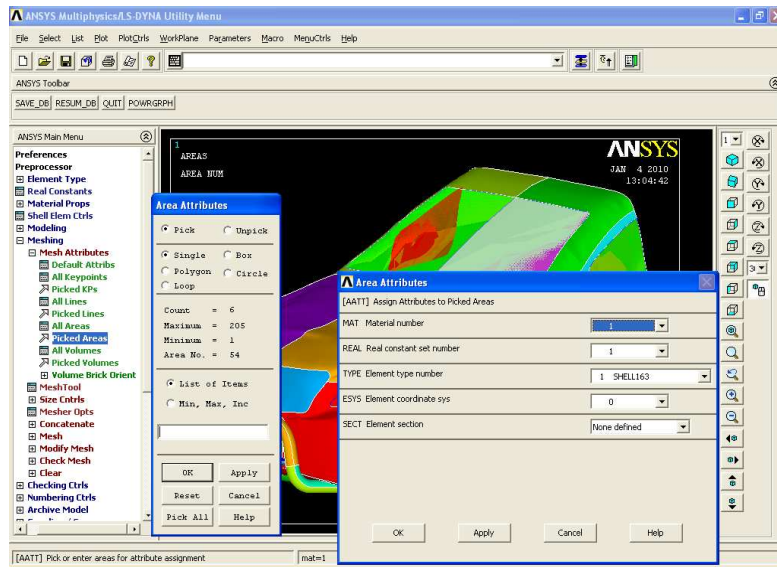


Figura 4.27 – Ventana ANSYS LS-DYNA para vincular cada parámetro con cada parte del vehículo.

❖ Después de haber fijado para una parte los parámetros que la caracterizan se pasa al segundo paso, mallar. Abriendo la siguiente ventana se puede elegir entre varias opciones:

- Tamaño de la malla
- Tipo de malla (triangular o cuadrada)
- Orden de la malla (libre, mapeado o extendido)

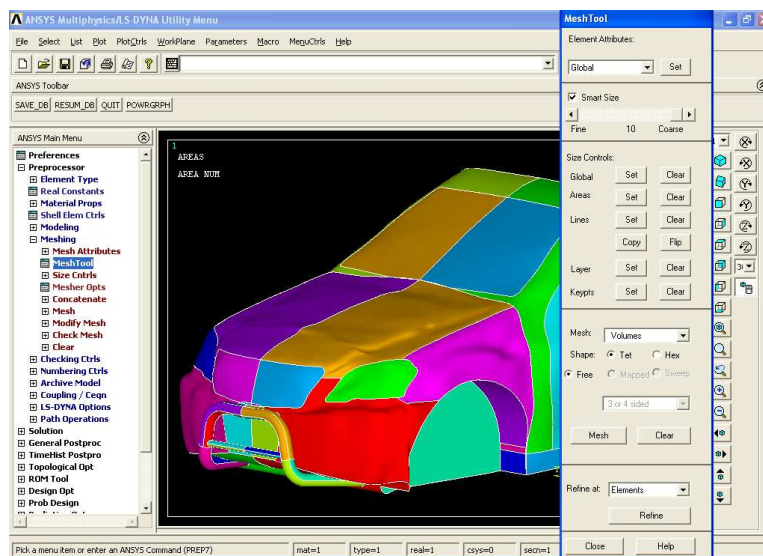


Figura 4.28 – Ventana ANSYS LS-DYNA para realizar el mallado.

Debido a la geometría irregular que presentan la mayoría de las partes del vehículo no se ha podido elegir el tipo de mallado óptimo. Sobre el tamaño de la malla seleccionada cabe destacar que en algunos lugares, que no son tan interesantes como pueden ser los laterales, el techo o incluso la luna delantera, se ha debido utilizar un tamaño más pequeño del deseado debido a las irregularidades, incrementando notablemente la carga computacional. En cambio en otras partes, que desempeñan un

papel fundamental en la dinámica del atropello se ha optado por un tamaño de malla más pequeño aún, para conseguir un mayor número de nodos donde el programa calculará todas las ecuaciones necesarias y así obtener unos resultados más precisos. Estos lugares han sido el capó, el parachoques, el radiador y la defensa. Se hubiera querido aumentar todavía más el número de nodos pero no ha sido posible por las especificaciones del ordenador usado y del tiempo disponible.

A continuación se ofrece la secuencia de cómo se ha ido creando el mallado de cada una de las partes del vehículo.

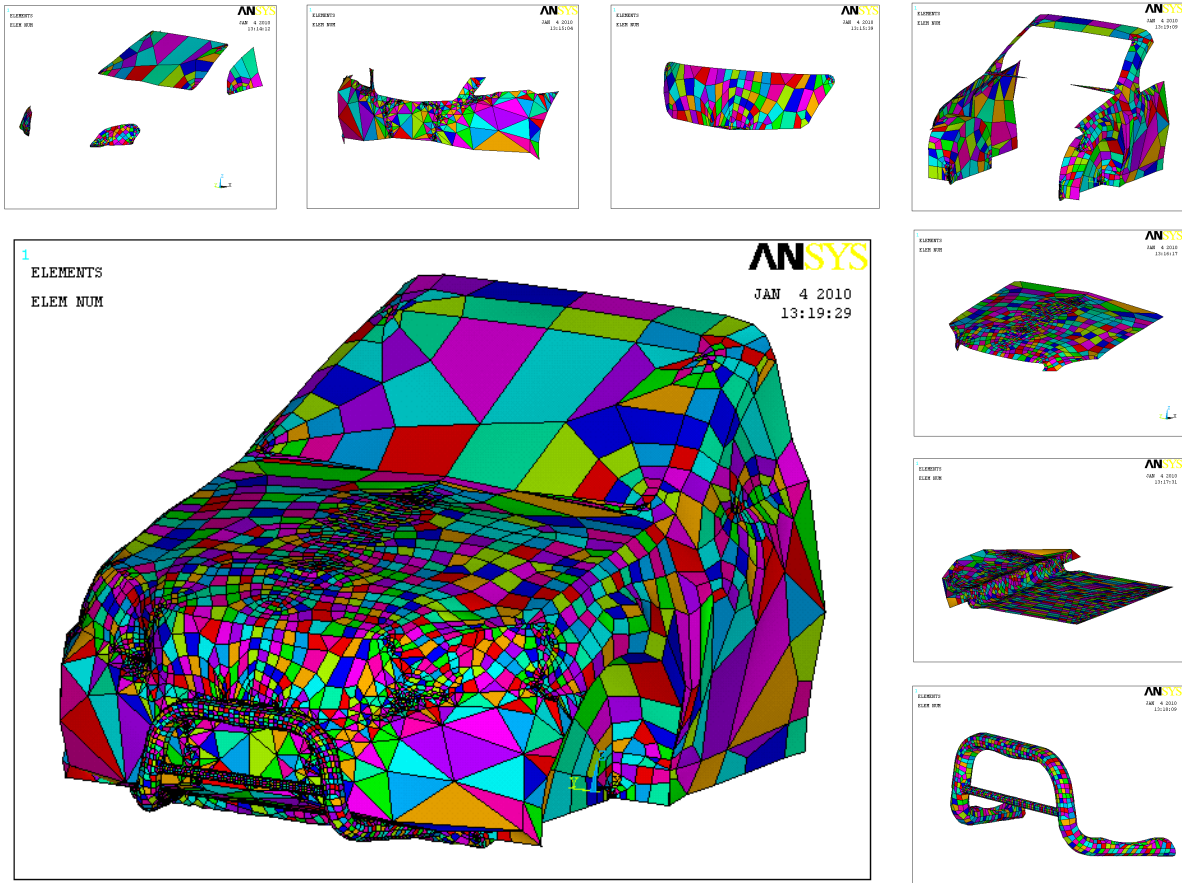


Figura 4.29 – Mallado de cada parte del vehículo y vehículo completo.

❖ Tras haber mallado cada parte, se procede definirla como part y como component.

Para ello se usa la siguiente ventana.

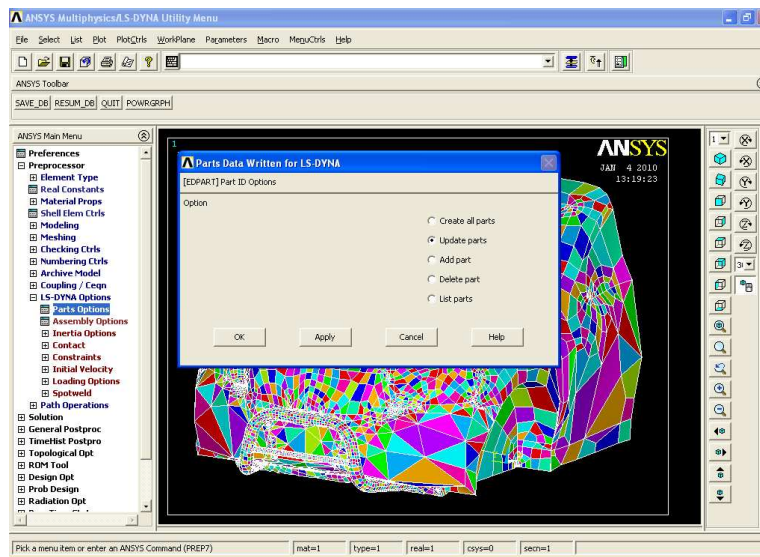


Figura 4.30 – Ventana ANSYS LS-DYNA para creación de parts.

Y la siguiente ventana para crear el component.

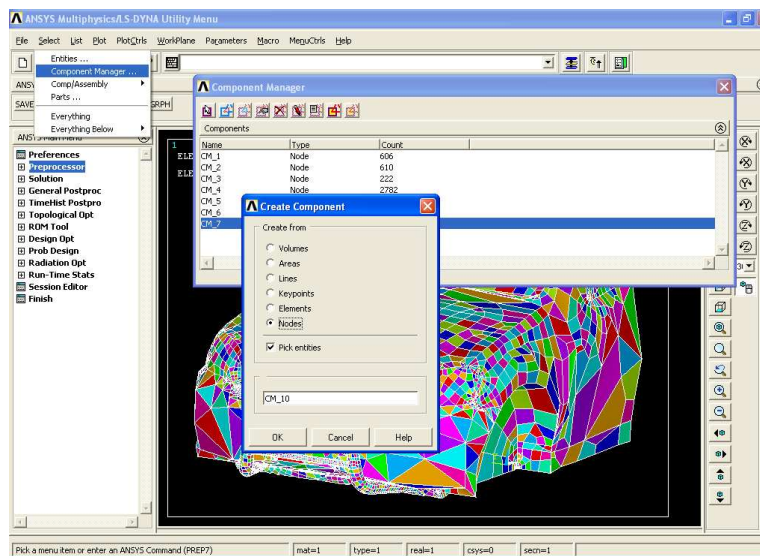


Figura 4.31 – Ventana ANSYS LS-DYNA para creación de components.

DUMMY

Una vez que ya se tiene el vehículo perfectamente cargado en el programa, listo para la simulación, se incluye el dummy siguiendo los mismos pasos que se realizaron para el automóvil.

Del mismo modo que el vehículo, fue necesario cambiar el formato al archivo del dummy modelado para poder exportarlo. Estando el dummy en formato IGES se introdujo en el programa colocándolo justo delante del vehículo a la menor distancia posible con el fin de reducir el tiempo desde que comienza la simulación hasta que el

vehículo y el dummy entran en contacto, ya que desde ese mismo instante se comienzan a registrar los primeros valores.

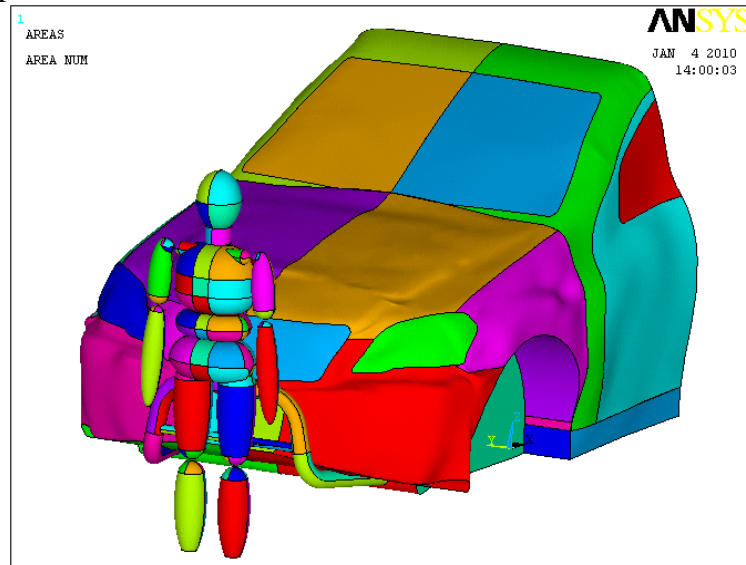


Figura 4.32 – Dummy importando en el sistema.

A continuación se detallan los pasos seguidos para preparar al dummy para la simulación de un atropello. Antes de ello, es importante comentar que en una primera simulación coche-dummy no pudo ser viable debido a la inmensa carga computacional. Los ordenadores con los que se podía trabajar no eran suficientemente potentes para afrontar tal reto. Por este motivo, ha sido necesario reducir el dummy, dejando tan solo, las piernas y la cadera. Tras este cambio se estudiará la biodinámica en la fase pre-impacto del dummy cuando es atropellado por un todoterreno con y sin defensa.

El sistema ahora pasa a ser el que se muestra en la siguiente imagen.

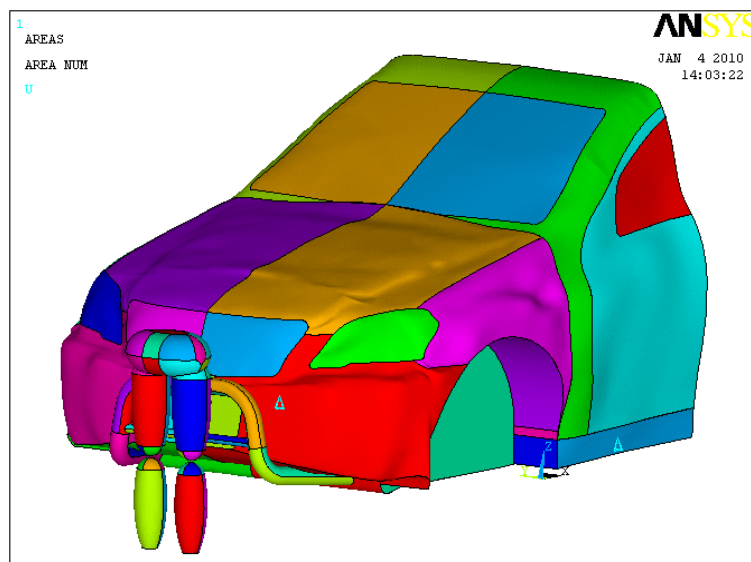


Figura 4.33 – Simplificación del dummy en el sistema.

TIPO DE ELEMENTO

A diferencia del vehículo, el dummy ha sido modelado y exportado a LS-DYNA como volúmenes en vez de como superficies lo que obliga a utilizar el tipo de elemento: Solid 164.

Tabla 4.7 - Tipo de elemento para el dummy.

Número	Parte	Tipo de elemento
2	Dummy	Solid 164

Este tipo de elemento está definido mediante ocho nodos como se muestra en la figura: I, J, K, L, M, N, O, P. Cada uno de ellos presenta los siguientes grados de libertad debidos a la traslacional respecto a cada uno de las direcciones: U_x , U_y , U_z .

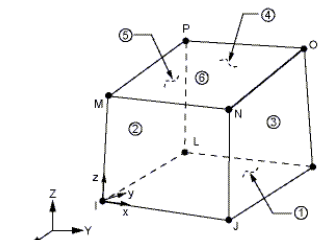


Figura 4.34 – Elemento Solid 164

CONSTANTES REALES

Al tratarse de un tipo de elemento sólido, no hace falta definir las constantes reales.

MATERIALES

Los huesos conforman la estructura que soporta el peso del cuerpo humano mientras que los músculos fijan los huesos y les dan cierta movilidad, la cual permite al ser humano moverse. En un atropello, es fácil pensar que la colisión afectará de manera más grave al hueso que a los músculos. Si un músculo se ve golpeado se reflejarán hematomas debidos a la contusión o incluso puede llegarse a producir esguince en los ligamentos por alguna mala posición. Pero si un hueso es golpeado fortísimamente, puede llegar a romperse con la posibilidad de perforar los músculos y la piel. De esto se deduce que la rotura de un hueso implica la probabilidad de tener lesiones mucho más graves, por ello, se ha decidido definir al dummy mediante las propiedades de los huesos.

Haciendo un estudio sobre los tipos de hueso de ser humano que existen, hay dos grandes grupos: hueso compacto y hueso esponjoso. Los huesos que componen las extremidades inferiores y la cadera son huesos compactos, por lo que se caracterizará el dummy con este tipo de material. Se han reunido los siguientes datos, que dan información sobre ambos tipos de huesos. [65] [88].

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

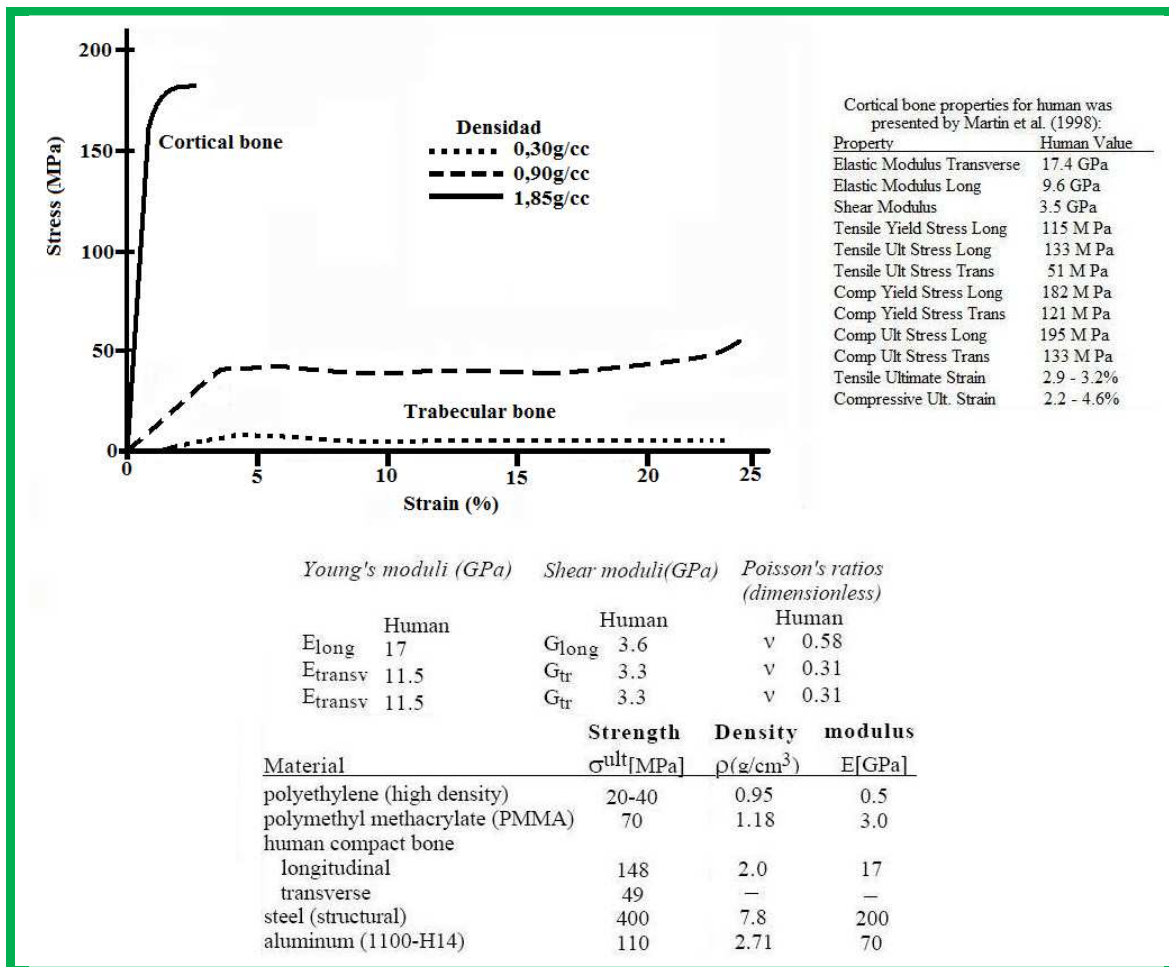


Figura 4.35 - Características del material para el dummy. [31d]

También, se han diferenciado cada una de las partes del dummy ya que se les ha asignado diferente número de material, tabla de la izquierda. Aún así, el material es el mismo para todas las partes, cuyos valores característicos están recogidos en la siguiente tabla de la derecha.

Tabla 4.8 - Material de cada parte del dummy

Material	Parte
8	Cadera
9	Fémur dcho.
10	Fémur izdo.
11	Pierna dcha.
12	Pierna izda.

Tabla 4.9 – Propiedades material dummy

Parámetros	Valores
Densidad	1,8·10 ⁻⁶ kg/mm ³
Módulo elástico	1,7·10 ⁴ N/mm ²
Nuxy	0,29
Límite elástico	115 N/mm ²
Módulo tangente	10 N/mm ²

El modelo de material seleccionado es “LS-DYNA – Nonlinear – Inelastic – Inelastic – Kinematic Hardening – Plastic Kinematic”. Este modelo tiene un comportamiento no lineal, inelástico plástico.

MALLADO y CREACIÓN DE PARTS Y COMPONENTS

Del mismo modo que se realizó este paso con el vehículo se debe repetir para el dummy. Primeramente se debe definir para cada volumen el tipo de elemento y el material de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 4.10 - Parámetros introducidos en LS-DYNA para el dummy.

Parte	Tipo elemento	Constante real	Material
Cadera	2	No precisa	8
Fémur dcho.	2	No precisa	9
Fémur izdo.	2	No precisa	10
Pierna dcha.	2	No precisa	11
Pierna izda.	2	No precisa	12

Después de haber definido los parámetros anteriores, se pasa a mallar el volumen. En este caso se ha elegido un tipo de mallado tetragonal mapeada, obteniendo una malla más homogénea y como consecuencia se reduce el nivel computacional. En las siguientes imágenes se muestra el proceso de mallado de cada una de las partes.

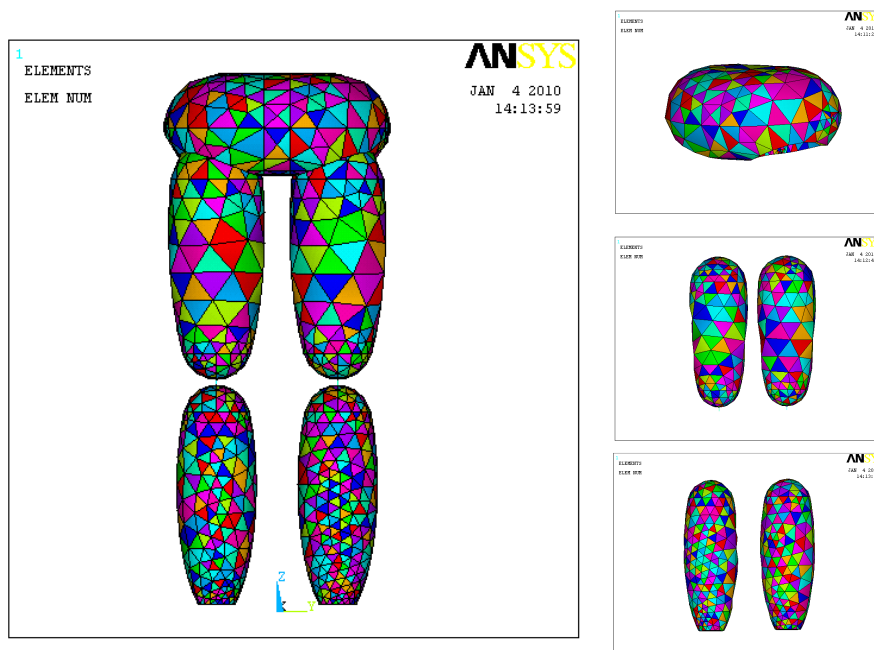


Figura 4.36 – Mallado de cada parte del dummy y dummy completo.

Tras este proceso se crea el part y el component del volumen de la misma forma que se crearon con el vehículo.

CREACIÓN DE ELEMENTOS VIGA

Los volúmenes que determinan el dummy están separados pero es necesario conectarlos de forma que se permita movilidad entre ellos a fin de simular las articulaciones que se han simplificado. Estas uniones se han llevado a cabo mediante elementos viga.

Las uniones que han sido creadas son las siguientes:

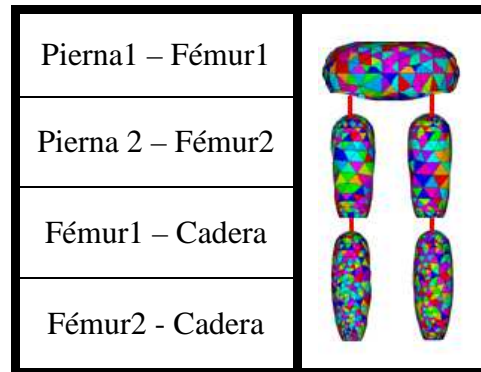


Figura 4.37 - Uniones entre las partes del dummy.

Para ello se ha definido primeramente el tipo de elemento correspondiente:

Tabla 4.11 - Tipo de elemento para las uniones.

Número	Parte	Tipo de elemento
3	Uniones	Beam 161

También es necesario definir real constant:

Tabla 4.12 - Constantes reales para las uniones del dummy.

Real Constant	Parte	Espesor
8	Uniones	1 mm

El material de las uniones será idéntico al empleado para el dummy. Para cada unión se ha escogido lo siguiente:

Tabla 4.13 - Material para cada unión.

Unión	Material
Pierna1 – Fémur1	11
Pierna 2 – Fémur2	12
Fémur1 – Cadera	9
Fémur2 - Cadera	10

A continuación se crearán físicamente los elementos vigas. Primeramente, del mismo modo que en el mallado, se debe indicar el tipo de elemento, constante real y material para cada unión. En la siguiente tabla se muestran los parámetros resumidos para cada unión:

Tabla 4.14 - Parámetros introducidos en LS-DYNA para cada unión.

Unión	Tipo de elemento	Real constant	Material
Pierna1 – Fémur1	3	8	11
Pierna 2 – Fémur2	3	8	12
Fémur1 – Cadera	3	8	9
Fémur2 - Cadera	3	8	10

Estos parámetros deben ser introducidos en la siguiente ventana del LS-DYNA:

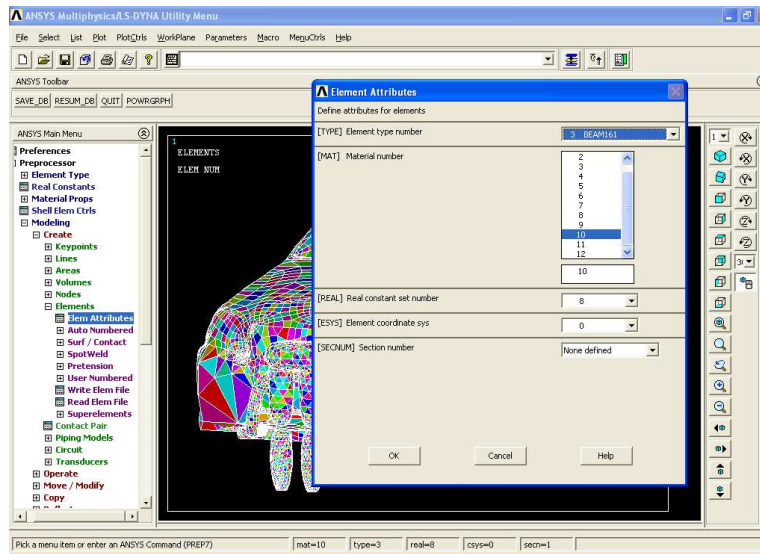


Figura 4.38 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir los parámetros correspondiente a las uniones.

Después de haber introducido los parámetros para una unión se pasa a crear el elemento viga. El modo de realizarlo se observa en la siguiente ventana, se debe seleccionar 3 nodos, uno al menos de cada volumen mallado que se quiera unir.

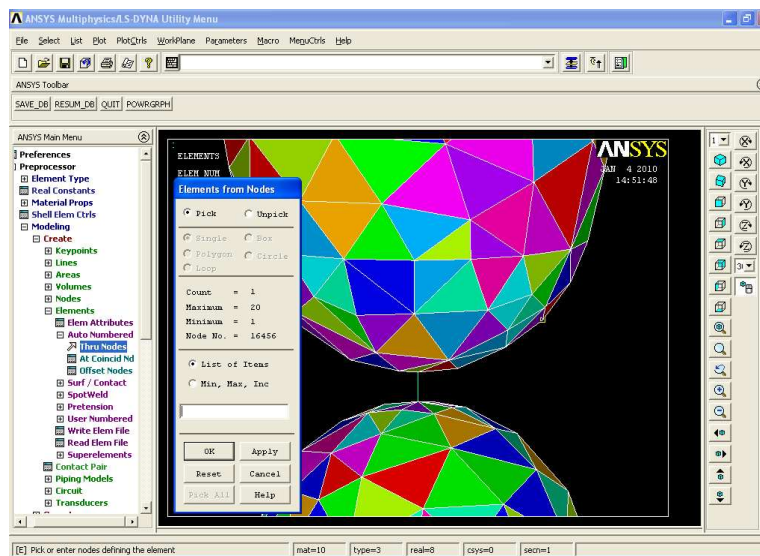


Figura 4.39 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la creación de los elementos viga para las uniones.

Cuando se tengan todas las uniones creadas se debe crear el part y el component correspondiente, al igual que se realizó con el resto de elementos.

De este modo, tras haber creado todas las uniones, todos las partes que componen el dummy están unidas y en el impacto que se producirá en la simulación del atropello no se comportarán como piezas separadas sino que están interconectadas y la biodinámica será más real.

CONTACTOS

En este momento, se tienen perfectamente preparados el dummy y el vehículo pero si se realizase una simulación el programa no los relacionaría y nunca llegarían a colisionar, se cruzarían. Es necesario, introducir en el programa las partes del dummy que colisionarán con el vehículo y entre ellos mismos para que el software comience a calcular en cada nodo tras el contacto de una parte con otra. Al tratarse de muy pocas partes se ha decidido relacionar todas con todas aunque como es obvio hay partes que jamás chocarán con otras como por ejemplo el radiador con la chapa o la pierna con la chapa o la cadera con la defensa...

En las siguientes tablas quedan marcados los contactos definidos entre las partes:

Tabla 4.15 - Contactos creados entre el dummy y el vehículo para la primera simulación.

CRISTALES 1	1	CRISTALES	CAPÓ 5	1	CRISTALES	FÉMUR 1 9	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
PARACHOQUES 2	1	CRISTALES	BASTIDOR 6	1	CRISTALES	FÉMUR 2 10	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
RADIADOR 3	1	CRISTALES	DEFENSA 7	1	CRISTALES	PIERNA 1 11	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
CHAPA 4	1	CRISTALES	CADERA 8	1	CRISTALES	PIERNA 2 12	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2

Este proceso se realiza con la siguiente ventana del LS-DYNA donde se hace uso de las parts creadas anteriormente. El tipo de contacto elegido será un “surface to surface - automático”. Se selecciona en el primer recuadro la part correspondiente a la parte que choca y en el segundo la part correspondiente a la parte chocada. Este proceso se repite hasta tener todos los contactos definidos.

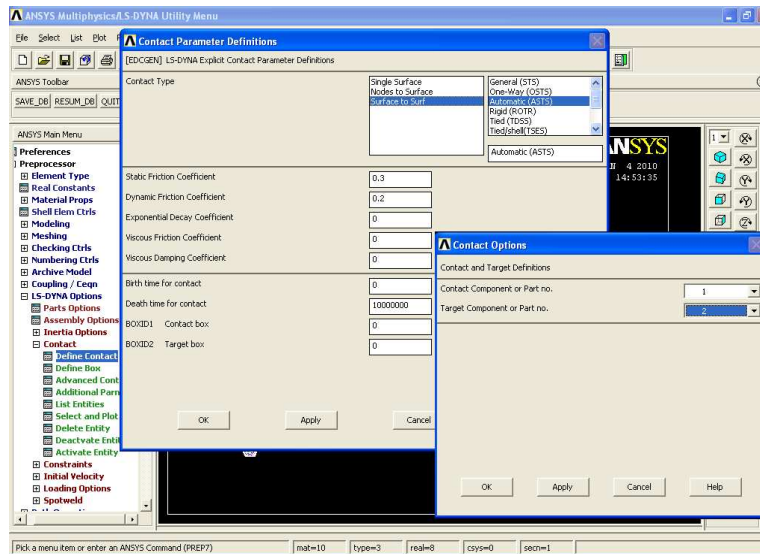


Figura 4.40 – Ventana ANSYS LS-DYNA para crear los contactos entre el dummy y el vehículo.

VELOCIDAD

En este apartado se fija la velocidad a la que se mueve cada una de las partes creadas. De las doce partes existentes solamente se conferirá una velocidad de traslación a las del automóvil, por lo que el dummy permanecerá inmóvil hasta el mismo momento del atropello. La velocidad definida para la simulación ha sido la misma que se emplea en las pruebas EuroNCAP sobre atropellos. La velocidad es de 40km/h, haciendo cambio de conversión a las unidades utilizadas: 11111mm/s.

Tabla 4.16 - Velocidades definidas.

Part	Parte	Velocidad
1	Cristales	11111mm/s
2	Parachoques	11111mm/s
3	Radiador	11111mm/s
4	Chapa	11111mm/s
5	Capó	11111mm/s
6	Bastidor	11111mm/s
7	Defensa	11111mm/s

Las velocidades en cada part se introducen en la siguiente ventana del programa:

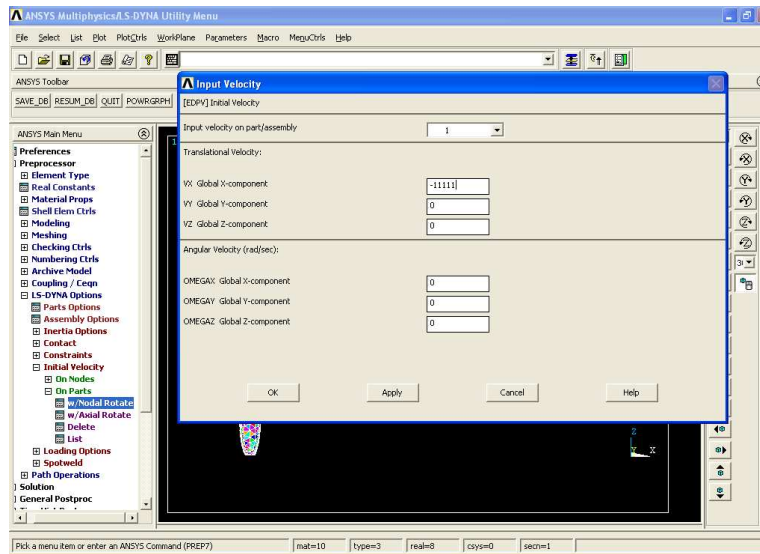


Figura 4.41 – Ventana ANSYS LS-DYNA para definir las velocidades.

TIEMPO SIMULACION

Ya por último, queda definir el tiempo que se desea simular el sistema. Como en principio no se sabe a ciencia cierta el tiempo necesario y, además, se puede detener la simulación y continuarla en cualquier momento se decidió poner un tiempo elevado. El tiempo introducido es de 5s.

El tiempo elegido se introduce en el programa en la siguiente ventana que se muestra abajo:

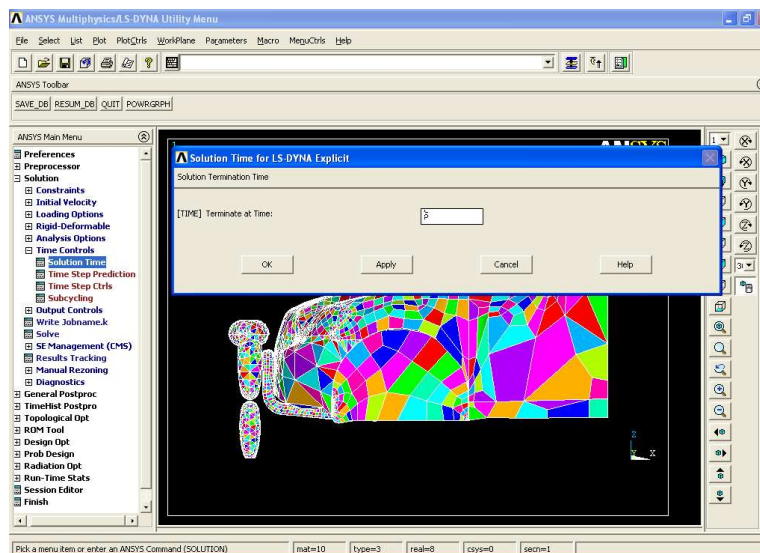


Figura 4.42 – Ventana ANSYS LS-DYNA para definir el tiempo de simulación.

Con todos estos parámetros el software de simulación, LS-DYNA, está preparado para afrontar la primera de las simulaciones. Según se muestra en la siguiente imagen.

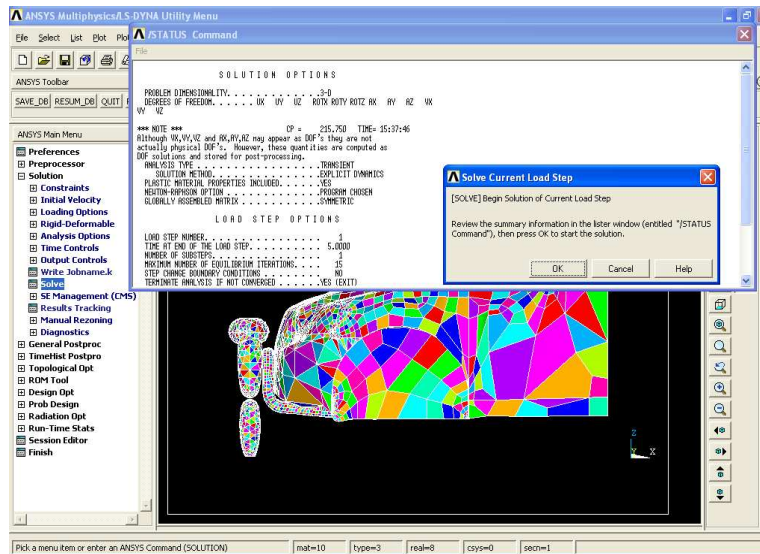


Figura 4.43 – Ventana ANSYS LS-DYNA para comenzar la simulación.

4.2.1.1.2 SEGUNDA SIMULACIÓN

Teniendo el primer archivo de LS-DYNA listo para llevar a cabo la simulación, crear el resto de archivos para cada simulación es más fácil y sencillo partiendo del anterior.

De hecho, en el caso de la segunda simulación la única diferencia es que el vehículo no tiene la defensa. Para cargar este nuevo archivo habrá que eliminar la defensa y algunos parámetros referentes a la misma.

Para eliminar la defensa primeramente hay que eliminar la part y el component referente a ella. Este proceso se realiza en las siguientes ventanas:

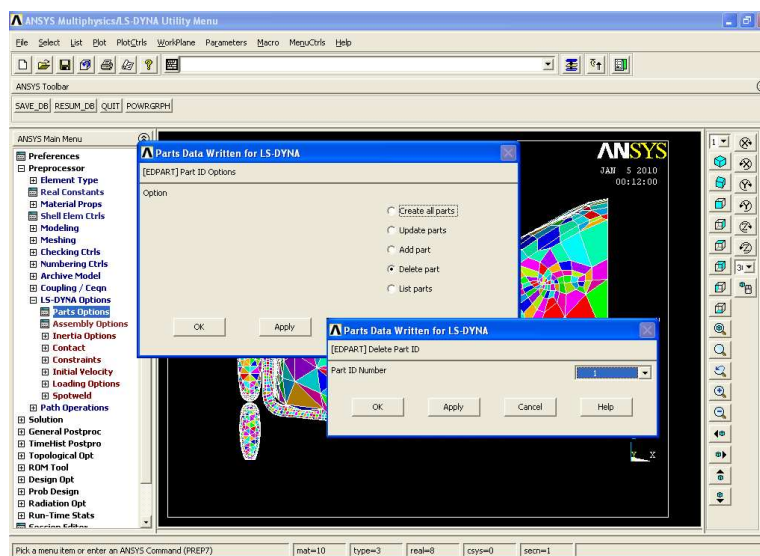


Figura 4.44 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la eliminación de la part correspondiente a la defensa.

Seguidamente se debe borrar la malla y para ello se usa la opción Clear, mostrada en la ventana del LS-DYNA después de haber seleccionado todas las superficies que componen la defensa.

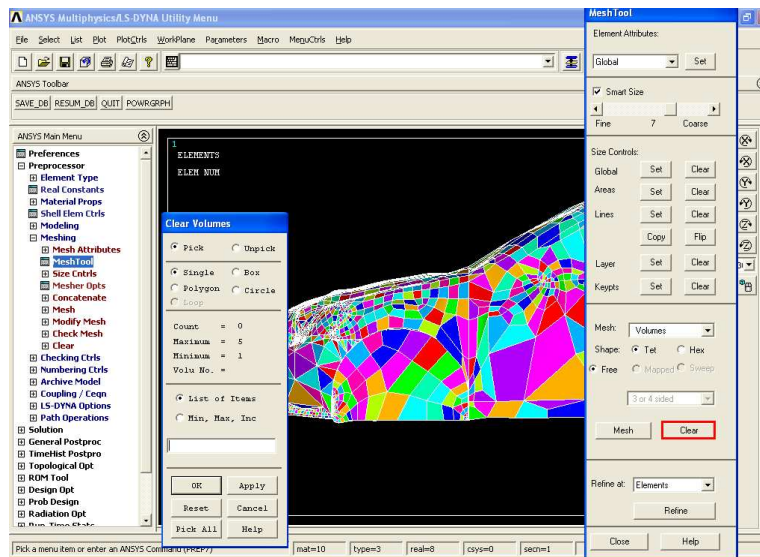


Figura 4.45 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar mallado de la defensa.

Por último, se deben eliminar las superficies y líneas que componen la geometría de la defensa. Para ello se deben seleccionar las superficies que definen geoméricamente la defensa y utilizar la opción "area and below", la cual se muestra en la siguiente ventana:

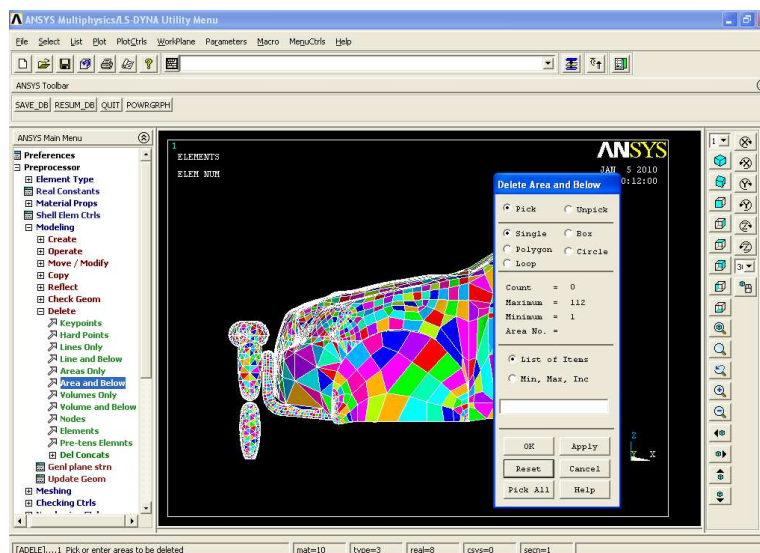


Figura 4.46 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar las áreas y líneas que definen la defensa.

Teniendo la nueva geometría del vehículo se deben cambiar los siguientes parámetros: contactos, velocidad.

Como es lógico al no existir la defensa es imposible que exista colisión entre el dummy y ésta, por ello es necesario eliminar todas aquellos contactos que relacionen la defensa con cualquier part todavía existente. En las siguientes tablas se muestran en gris

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

los contactos que se crearon en la primera simulación y en rojo aquellos que han tenido que ser eliminados.

Tabla 4.17 - Cambios en contactos para segunda simulación.

CRISTALES 1	1	CRISTALES	CAPÓ 5	1	CRISTALES	FÉMUR 1 9	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
PARACHOQUES 2	1	CRISTALES	BASTIDOR 6	1	CRISTALES	FÉMUR 2 10	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
RADIADOR 3	1	CRISTALES	DEFENSA 7	1	CRISTALES	PIERNA 1 11	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2
CHAPA 4	1	CRISTALES	CADERA 8	1	CRISTALES	PIERNA 2 12	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	CADERA		8	CADERA		8	CADERA
	9	FEMUR1		9	FEMUR1		9	FEMUR1
	10	FEMUR2		10	FEMUR2		10	FEMUR2
	11	PIERNA1		11	PIERNA1		11	PIERNA1
	12	PIERNA2		12	PIERNA2		12	PIERNA2

En la siguiente ventana se muestra la opción para borrar los contactos ya creados entre dos parts.

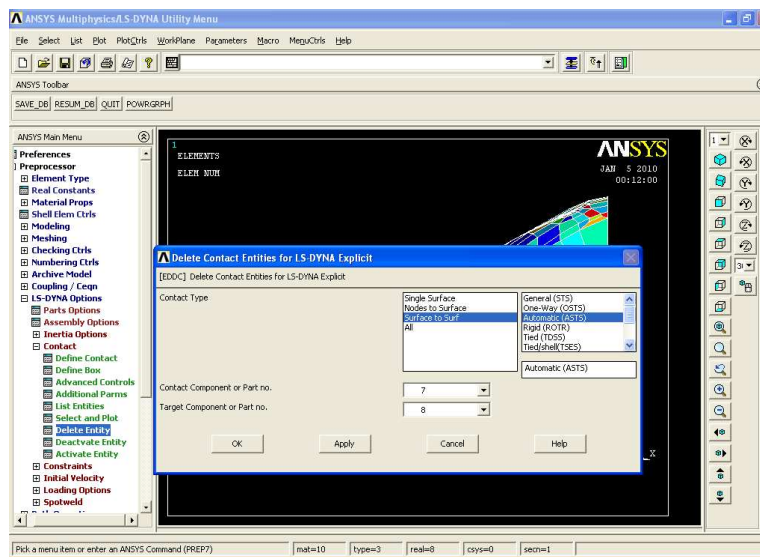


Figura 4.47 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar contactos.

También se debe eliminar la velocidad referente a la part de la defensa. Esto se hace en la siguiente ventana donde hay una opción para eliminar o variar las velocidades ya creadas anteriormente, tan sólo hará falta seleccionar la part de la defensa y eliminar.

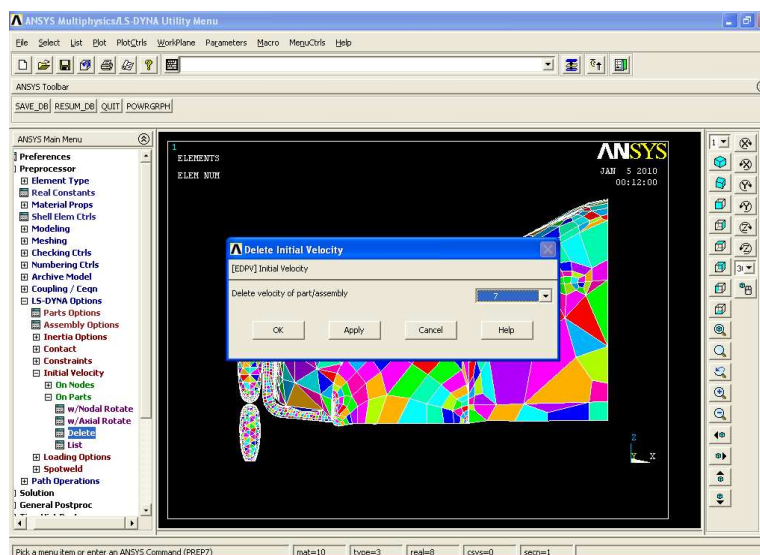


Figura 4.48 – Ventana ANSYS LS-DYNA para eliminar velocidad correspondiente a la defensa.

Una vez realizadas todas las variaciones pertinentes, la segunda simulación queda lista para obtener resultados de interés.

4.2.1.2 SEGUNDO BLOQUE: VEHÍCULO E IMPACTADOR.

4.2.1.2.1 TERCERA SIMULACIÓN

Como ya se dijo, la tercera y la cuarta simulación consisten en simular un atropello pero como en las pruebas EuroNCAP, mediante impactadores. La finalidad es obtener una comparación entre las pruebas realizadas con un dummy verdadero y con impactadores.

Para realizar esta tercera simulación se va a partir del instante en el que en la primera simulación se tiene solamente preparado el vehículo, sin haber introducido todavía el dummy.

En la siguiente imagen se muestra exactamente el paso del cual se parte:

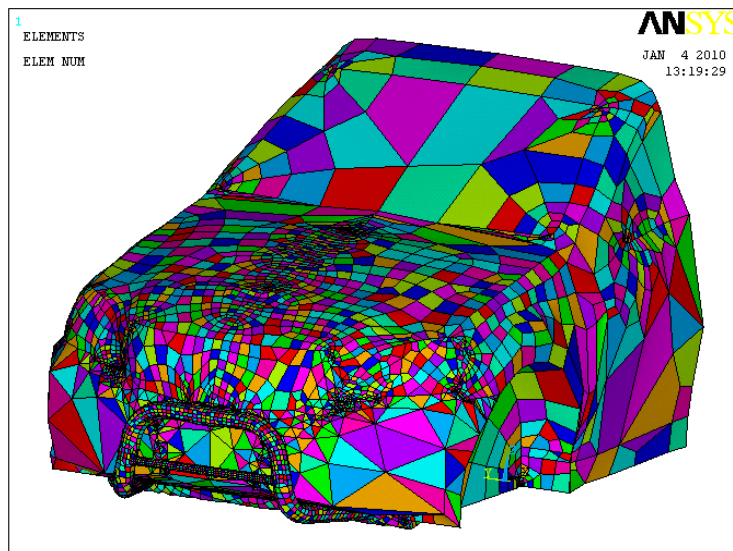


Figura 4.49 – Sistema de partida para la tercera simulación.

A diferencia del dummy, el impactador ha sido modelado en el mismo ANSYS LS-DYNA sin haber pasado anteriormente por el programa Solid Edge.

Para crear el impactador se ha debido desplazar el working plane al lugar apropiado, enfrente del vehículo. Una vez allí, se creó un volumen cilíndrico, correspondiente a la pierna. Seguidamente se volvió a desplazar el working plane 10mm por encima de la cara superior del cilindro de la pierna y se creó de nuevo otro cilindro que corresponde al fémur. Las medidas que se han usado para los cilindros, tanto la longitud como el diámetro son los argumentados a continuación. En el capítulo de impactadores se profundizó en las características y se mostró las medidas y materiales que lo componen.

Tabla 4.18 - Medidas impactador.

	Diámetro	Longitud
Fémur	72 mm	400 mm
Pierna	72 mm	450 mm

En la siguiente imagen se muestra el impactador modelado.

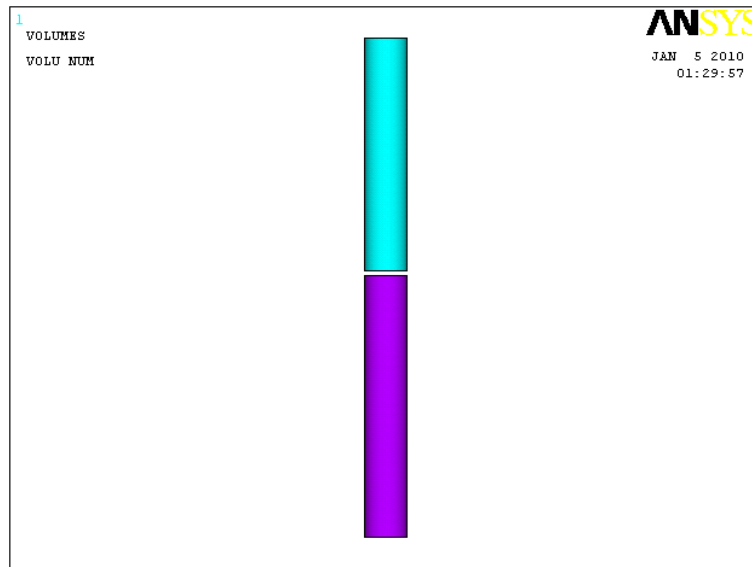


Figura 4.50 – Impactador.

Entonces, el sistema vehículo – impactador queda de la siguiente manera.

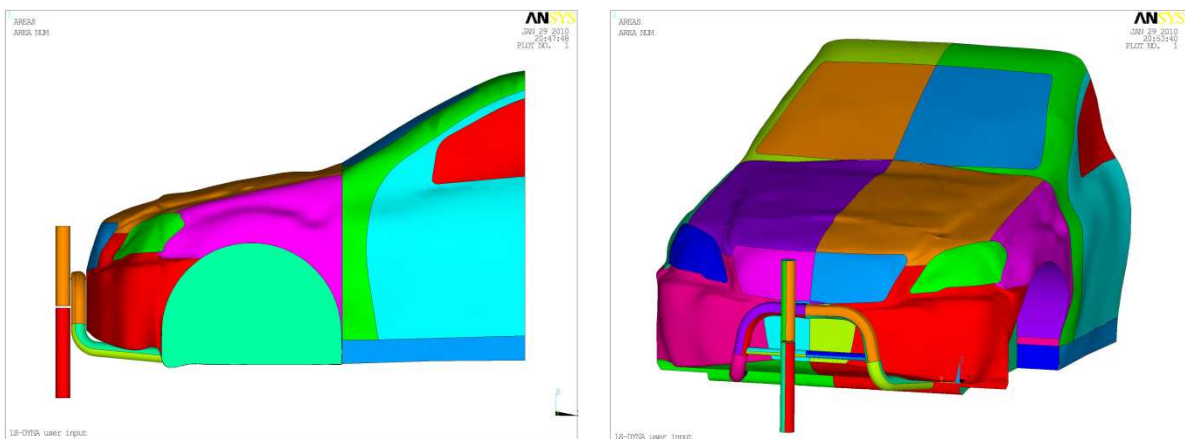


Figura 4.51 – Sistema vehículo impactador.

A continuación se explica paso por paso el proceso de preparación del impactador y del conjunto.

TIPO DE ELEMENTO

Se trata de volúmenes por lo que el tipo de elemento elegido es el Solid 164.

Tabla 4.19 - Tipo de elemento para el impactador.

Número	Parte	Tipo de elemento
2	Impactador	Solid 164

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

REAL CONSTANT

El parámetro real constant está íntimamente relacionado con aquellos parámetros que no han sido dibujados en el programa. Al tratarse de volúmenes está todo definido por lo que no es necesario introducir ningún valor.

MATERIAL

Los impactadores que se utilizan en las pruebas EuroNCAP han sido diseñados con la finalidad de optimizar la biofidelidad y la antropometría, dos de las características fundamentales que se han de tener en cuenta. No es de extrañar, que los impactadores hayan sido creados con diferentes materiales para adaptar cada parte a las características reales de una pierna humana. La armadura está fabricada principalmente en aluminio y está recubierta de una espuma especial, la cual recrea los músculos. Debido a la simplificación realizada en el impactador creado para esta simulación se ha decidido caracterizarlo como aluminio. El material escogido tiene las siguientes propiedades: [83]

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.0810 - 7.30 g/cc	0.00293 - 0.264 lb/in ³	Average value: 2.77 g/cc Grade Count:951
Cell Length	3.00 - 7.00 mm	0.118 - 0.276 in	Average value: 4.67 mm Grade Count:3
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	12.0 - 230	12.0 - 230	Average value: 87.0 Grade Count:468
Hardness, Knoop	67.0 - 232	67.0 - 232	Average value: 122 Grade Count:324
Hardness, Rockwell A	35.4 - 60.0	35.4 - 60.0	Average value: 44.6 Grade Count:196
Hardness, Rockwell B	45.0 - 96.0	45.0 - 96.0	Average value: 68.1 Grade Count:217
Hardness, Vickers	15.0 - 700	15.0 - 700	Average value: 126 Grade Count:320
Tensile Strength, Ultimate	0.700 - 1450 MPa	102 - 210000 psi	Average value: 298 MPa Grade Count:591
Tensile Strength, Yield	1.24 - 770 MPa	180 - 112000 psi	Average value: 241 MPa Grade Count:530
Elongation at Break	0.150 - 50.0 %	0.150 - 50.0 %	Average value: 10.5 % Grade Count:542
Modulus of Elasticity	0.0480 - 310 GPa	6.96 - 45000 ksi	Average value: 73.2 GPa Grade Count:532
Flexural Yield Strength	172 - 213 MPa	24900 - 30900 psi	Average value: 198 MPa Grade Count:3
Compressive Yield Strength	0.300 - 2070 MPa	43.5 - 300000 psi	Average value: 229 MPa Grade Count:72
Compressive Modulus	0.0690 - 82.8 GPa	10.0 - 12000 ksi	Average value: 50.4 GPa Grade Count:42
Notched Tensile Strength	90.0 - 414 MPa	13100 - 60000 psi	Average value: 258 MPa Grade Count:21
Ultimate Bearing Strength	117 - 1090 MPa	17000 - 158000 psi	Average value: 496 MPa Grade Count:41
Bearing Yield Strength	41.0 - 807 MPa	5950 - 117000 psi	Average value: 305 MPa Grade Count:41
Poissons Ratio	0.300 - 0.350	0.300 - 0.350	Average value: 0.330 Grade Count:400
Charpy Impact	3.30 - 21.7 J	2.43 - 16.0 ft-lb	Average value: 8.42 J Grade Count:17
Charpy Impact, Unnotched	16.3 - 77.0 J	12.0 - 56.8 ft-lb	Average value: 51.5 J Grade Count:7
Fatigue Strength	20.7 - 435 MPa	3000 - 63100 psi	Average value: 126 MPa Grade Count:212
Fracture Toughness	10.0 - 165 MPa-m ^{1/2}	9.10 - 150 ksi-in ^{1/2}	Average value: 33.9 MPa-m ^{1/2} Grade Count:37
Machinability	10.0 - 90.0 %	10.0 - 90.0 %	Average value: 54.8 % Grade Count:250
Shear Modulus	0.121 - 55.0 GPa	17.5 - 7980 ksi	Average value: 26.3 GPa Grade Count:396
Shear Strength	0.500 - 420 MPa	72.5 - 60900 psi	Average value: 179 MPa Grade Count:504
Impact	0.110 - 7.80	0.110 - 7.80	Average value: 2.23 Grade Count:3
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.00000260 - 0.00494 ohm-cm	0.00000260 - 0.00494 ohm-cm	Average value: 0.0000242 ohm-cm Grade Count:502
Magnetic Coercive Force, H _c	480 - 1860 Oe	480 - 1860 Oe	Average value: 824 Oe Grade Count:11
Magnetic Remanence, B _r	3500 - 13000 Gauss	3500 - 13000 Gauss	Average value: 8460 Gauss Grade Count:11
Magnetic Maximum Energy Product, BH	1.20 - 7.50 MGOe	1.20 - 7.50 MGOe	Average value: 3.91 MGOe Grade Count:11
Magnetic Susceptibility	6.00e-7 - 8.00e-7	6.00e-7 - 8.00e-7	Average value: 7.61e-7 Grade Count:18
Curie Temperature	810 - 860 °C	1490 - 1580 °F	Average value: 844 °C Grade Count:11
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Heat of Fusion	387 - 390 J/g	166 - 168 BTU/lb	Average value: 389 J/g Grade Count:182
CTE, linear	8.00 - 27.4 µm/m-°C	4.44 - 15.2 µm/in-°F	Average value: 23.3 µm/m-°C Grade Count:457
Specific Heat Capacity	0.350 - 1.01 J/g-°C	0.0837 - 0.241 BTU/lb-°F	Average value: 0.910 J/g-°C Grade Count:434
Thermal Conductivity	1.48 - 243 W/m-K	10.3 - 1690 BTU-in/hr-ft ² -°F	Average value: 151 W/m-K Grade Count:530
Melting Point	204 - 1350 °C	400 - 2460 °F	Average value: 608 °C Grade Count:486
Solidus	204 - 660 °C	400 - 1220 °F	Average value: 567 °C Grade Count:471
Liquidus	543 - 674 °C	1010 - 1250 °F	Average value: 639 °C Grade Count:477
Maximum Service Temperature, Air	60.0 - 550 °C	140 - 1020 °F	Average value: 399 °C Grade Count:17
Minimum Service Temperature, Air	-80.0 °C	-112 °F	Average value: -80.0 °C Grade Count:3
Optical Properties	Metric	English	Comments
Emissivity (0-1)	0.0400 - 0.300	0.0400 - 0.300	Average value: 0.0655 Grade Count:10
Reflection Coefficient, Visible (0-1)	0.860 - 0.960	0.860 - 0.960	Average value: 0.890 Grade Count:12
Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	505 - 816 °C	941 - 1500 °F	Average value: 723 °C Grade Count:75
Annealing Temperature	177 - 546 °C	350 - 1020 °F	Average value: 376 °C Grade Count:274
Solution Temperature	399 - 566 °C	750 - 1050 °F	Average value: 512 °C Grade Count:218
Aging Temperature	22.2 - 346 °C	72.0 - 655 °F	Average value: 169 °C Grade Count:158
Hot-Working Temperature	260 - 510 °C	500 - 950 °F	Average value: 386 °C Grade Count:95
Casting Temperature	616 - 816 °C	1140 - 1500 °F	Average value: 720 °C Grade Count:70

Figura 4.52 – Ficha técnica del aluminio elegido para el impactador.

De todas las propiedades presentes en la anterior figura, en la siguiente tabla se muestran de manera resumida aquellas con las que se va a trabajar.

Tabla 4.20 - Material del impactador.

Material	Parte	Parámetros	Valores
8	Impactador	Densidad	$3,8 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
		Módulo elástico	$2,5 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
		Nuxy	0,32
		Límite elástico	600 N/mm^2
		Módulo tangente	1000 N/mm^2

El modelo de material elegido para definir los cristales es “LS-DYNA – Nonlinear – Inelastic - Inelastic – Kinematic Hardening – Plastic Kinematic”. Este modelo tiene un comportamiento no linear, inelástico plástico.

MALLADO y CREACIÓN DE PARTS Y COMPONENTS

Del sistema coche-impactador sólo queda mallar el impactador. Se comienza asignándole los parámetros que van a caracterizar al impactador y que anteriormente han sido creados en el software. En la siguiente tabla se muestran los valores.

Tabla 4.21 – Parámetros introducidos en LS-DYNA para el impactador.

Parte	Tipo elemento	Constante real	Material
Impactador	2	No precisa	8

Una vez definidas las propiedades mecánicas del impactador se realiza el mallado. Al tratarse de una geometría regular, cilindros, en este caso, el software permite mallarlo mediante tetraedros mapeados consiguiendo de este modo una malla más refinada y ordenada por lo que al realizar los cálculos internos durante la simulación los hará de forma más rápida. En la siguiente figura se muestra el mallado del impactador.

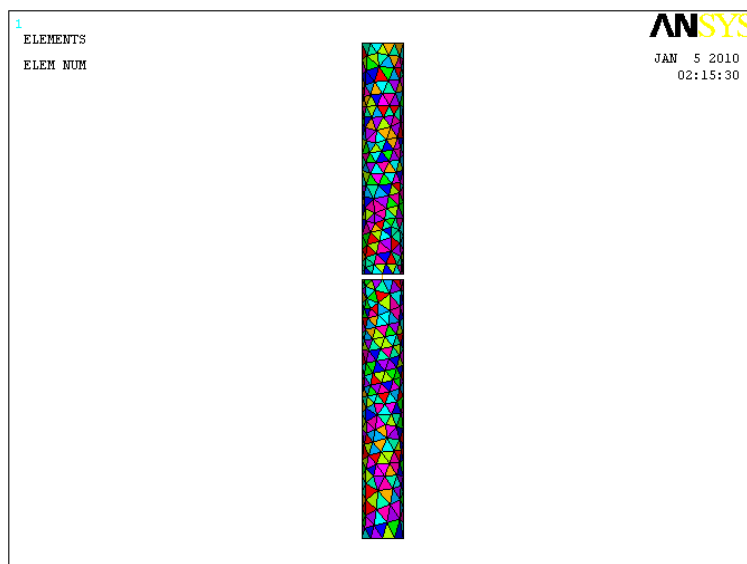


Figura 4.53 – Impactador mallado.

En la siguiente figura aparece el sistema coche-impactador perfectamente mallado.

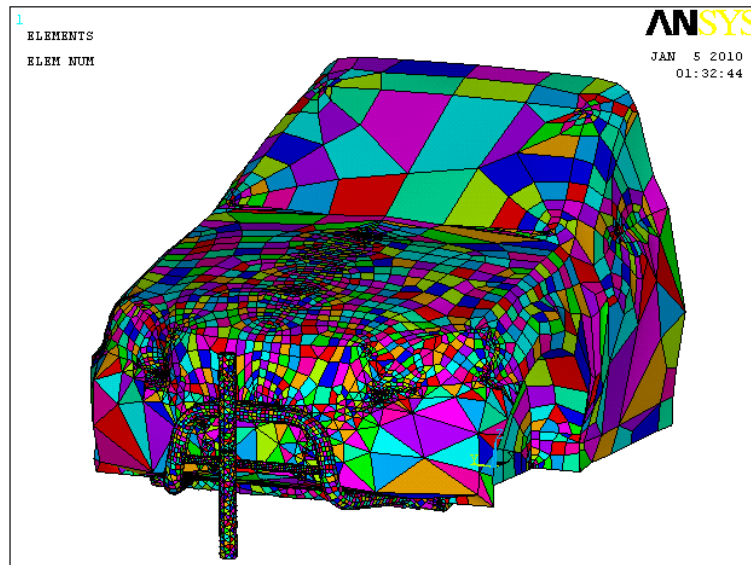


Figura 4.54 – Sistema vehículo con defensa e impactador mallado.

Finalmente, se deben crear los parts y los components relativos al impactador tal y como se explicó anteriormente

CREACIÓN DE ELEMENTOS VIGA

En este apartado se realizará la unión entre los dos cilindros que componen el impactador. La unión representa físicamente la movilidad que tiene la rodilla. El modo de crear dicha unión es idéntico al proceso que se realizó para las distintas partes del dummy.

Primeramente, se debe crear el tipo de elemento correspondiente.

Tabla 4.22 - Tipo de elemento para las uniones.

Número	Parte	Tipo de elemento
3	Uniones	Beam 161

Además, se ha creado la constante real:

Tabla 4.23 - Constantes reales para las uniones del impactador.

Real Constant	Parte	Espesor
8	Uniones	1 mm

El tipo de material con el que se quiere caracterizar el elemento viga se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.24 - Material para la unión del impactador.

Unión	Material
C.Pierna – C.Fémur	8

A continuación se crearán físicamente los elementos viga. Primeramente, del mismo modo que en el mallado, se debe indicar el tipo de elemento, constante real y

material para cada unión. En la siguiente tabla se muestra los parámetros resumidos para la unión:

Tabla 4.25 – Parámetros introducidos en LS-DYNA para la unión del impactador.

Unión	Tipo de elemento	Real constant	Material
C.Pierna – C.Fémur	3	8	8

Estos parámetros deben ser introducidos en la siguiente ventana del LS-DYNA:

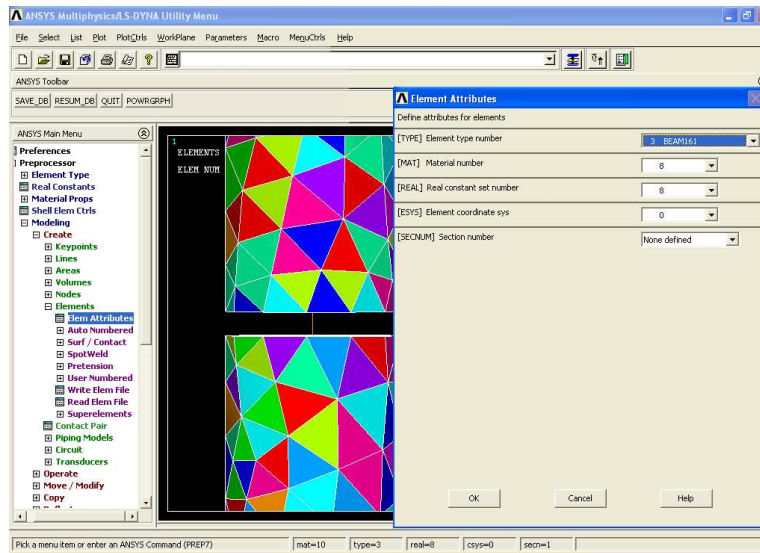


Figura 4.55 – Ventana ANSYS LS-DYNA para introducir los parámetros correspondientes a las uniones.

Después de haber introducido los parámetros, se abre la siguiente ventana donde habrá que señalar 3 nodos, al menos uno en cada volumen mallado que se quiera unir. De este modo se crea el elemento viga que actuará como articulación.

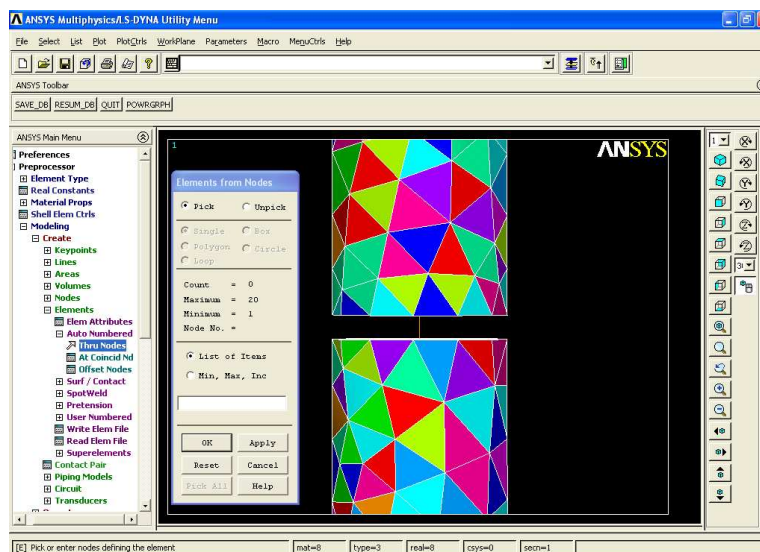


Figura 4.56 – Ventana ANSYS LS-DYNA para la creación de los elementos viga para las uniones.

Para terminar este apartado han de crearse la part y component de la unión.

CONTACTOS

Para que durante la simulación exista un impacto entre las partes del coche y las del impactador, es necesario introducir que partes chocan entre sí. Como no interesa discriminar ningún posible impacto, se han realizado el total de permutaciones posibles como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 4.26 - Contactos creados entre el dummy y el vehículo para la tercera simulación.

CRISTALES 1	1	CRISTALES	CHAPA 4	1	CRISTALES	DEFENSA 7	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR
PARACHOQUES 2	1	CRISTALES	CAPÓ 5	1	CRISTALES	IMPACTADOR 8	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR
RADIADOR 3	1	CRISTALES	BASTIDOR 6	1	CRISTALES		1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR

La forma de introducir estos datos en el programa se realiza en la siguiente ventana. Se selecciona en el primer recuadro la part, correspondiente a la parte que choca y en el segundo la part correspondiente a la parte chocada. Este proceso se repite hasta tener todos los contactos definidos. El tipo de contacto que se ha elegido es un “Surface to Surface – Automatic”

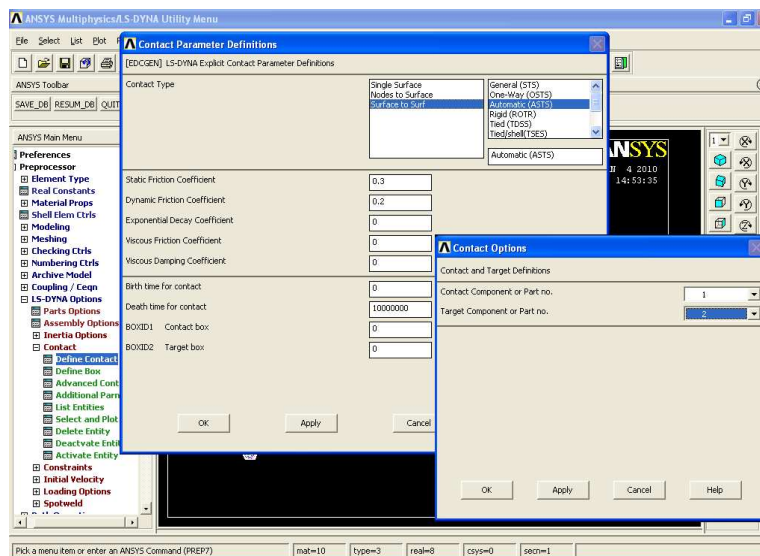


Figura 4.57 – Ventana ANSYS LS-DYNA para crear los contactos entre el vehículo y el impactador.

VELOCIDAD

En este apartado se fija la velocidad a la que se mueve cada una de las partes creadas. El impactador permanecerá inmóvil mientras que el vehículo mantiene una velocidad constante de traslación. La velocidad es de 40km/h, 11111mm/s, velocidad con la que se realizan las pruebas EuroNCAP. Para que esto ocurra, hay que definir la velocidad en cada una de las partes, en este caso sólo las del vehículo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.27 - Velocidades definidas.

Part	Parte	Velocidad
1	Cristales	11111mm/s
2	Parachoques	11111mm/s
3	Radiador	11111mm/s
4	Chapa	11111mm/s
5	Capó	11111mm/s
6	Bastidor	11111mm/s
7	Defensa	11111mm/s

Las velocidades en cada part se introducen en la siguiente ventana del programa:

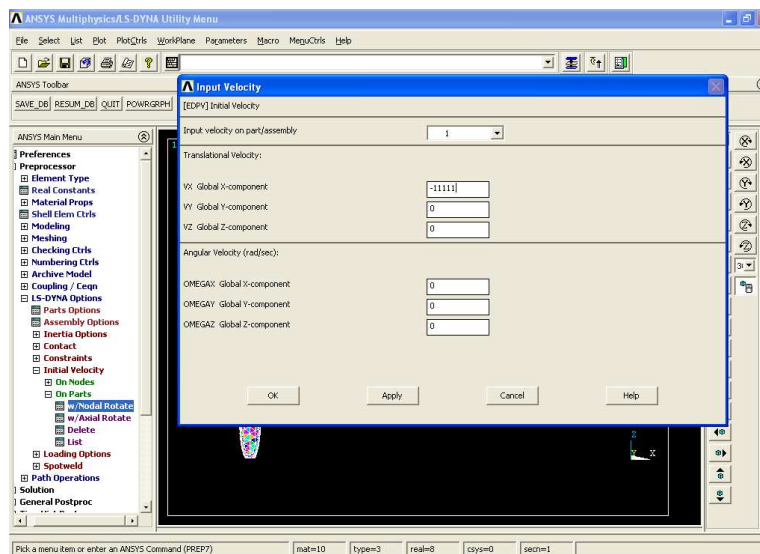


Figura 4.58 - Ventana ANSYS LS-DYNA para definir las velocidades.

TIEMPO SIMULACIÓN

El tiempo definido para la simulación es el mismo que en las anteriores simulaciones, 5 segundos.

Con todos estos parámetros el software de simulación, LS-DYNA, está preparado para afrontar la tercera de las simulaciones.

4.2.1.2.2 CUARTA SIMULACIÓN

Para preparar la cuarta y última simulación que se va a abordar en este Proyecto Fin de Carrera se parte del archivo creado en la tercera simulación. La diferencia que existe entre esta simulación y la anterior es que en este caso la defensa del todoterreno no aparece ya que se pretende estudiar en este caso la influencia de un atropello de un vehículo todoterreno sin defensa en las lesiones que aparecen en una persona mediante la extrapolación de datos que se obtienen en el impactador.

A continuación se detalla el proceso de creación del archivo para esta simulación. Al igual que se hizo en la segunda simulación hay que eliminar la defensa con todo lo que conlleva. Hay que eliminar las parts y componentes referentes a dicha parte del vehículo. Cuando eso se haya realizado hay que eliminar la malla y posteriormente hay que eliminar físicamente las superficies y líneas que componen dicho elemento estructural. Hasta aquí el proceso es idéntico al que se realizó en la segunda simulación.

El sistema queda de la siguiente manera:

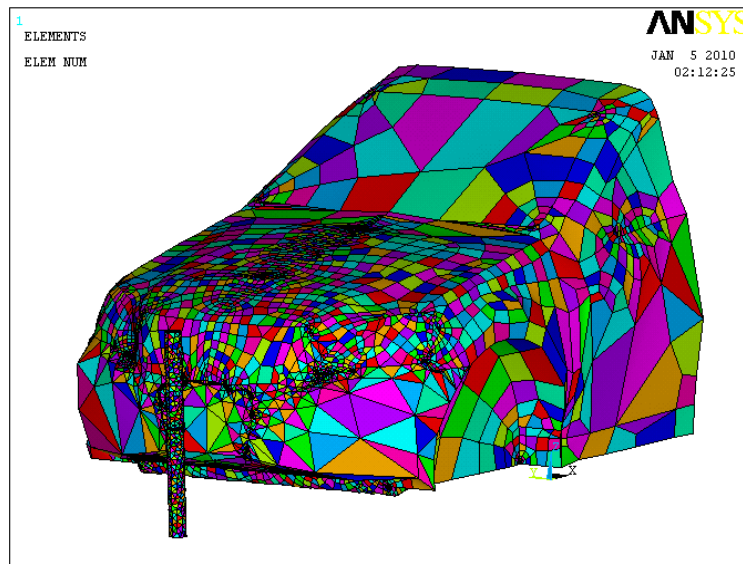


Figura 4.59 – Sistema vehículo sin defensa e impactador mallado.

Seguidamente, hay que eliminar todos aquellos contactos entre la defensa y cualquier parte existente. En la siguiente tabla aparecen en gris todos aquellos contactos que se crearon en la anterior simulación y en rojo aquellos contactos que han sido eliminados.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Tabla 4.28 - Cambios en contactos para cuarta simulación.

CRISTALES 1	1	CRISTALES	CHAPA 4	1	CRISTALES	DEFENSA 7	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR
PARACHOQUES 2	1	CRISTALES	CAPÓ 5	1	CRISTALES	IMPACTADOR 8	1	CRISTALES
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES
	3	RADIADOR		3	RADIADOR		3	RADIADOR
	4	CHAPA		4	CHAPA		4	CHAPA
	5	CAPO		5	CAPO		5	CAPO
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR		6	BASTIDOR
	7	DEFENSA		7	DEFENSA		7	DEFENSA
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR
RADIADOR 3	1	CRISTALES	BASTIDOR 6	1	CRISTALES			
	2	PARACHOQUES		2	PARACHOQUES			
	3	RADIADOR		3	RADIADOR			
	4	CHAPA		4	CHAPA			
	5	CAPO		5	CAPO			
	6	BASTIDOR		6	BASTIDOR			
	7	DEFENSA		7	DEFENSA			
	8	IMPACTADOR		8	IMPACTADOR			

La velocidad perteneciente a la defensa ha sido eliminada dejando intactas las correspondientes al resto de partes del vehículo.

De este modo queda perfectamente terminada la preparación de esta cuarta simulación.



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

5 ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES

Durante este capítulo se van a exponer algunos detalles sobre las distintas simulaciones y se analizarán los datos extraídos de las mismas.

Una vez que se tuvieron preparadas cada una de las simulaciones, creadas en el capítulo anterior, se pusieron a simular una por una. En primer lugar se simularon aquellas en las que el sistema estaba formado por dummy – vehículo con y sin defensa (primera y segunda simulación respectivamente). Ambas simulaciones exigían un elevadísimo nivel computacional. Se pudo tener constancia de ello cuando al haber pasado un mes simulando, donde el ordenador estuvo dedicado exclusivamente a la simulación, sólo había avanzado 0,005 s. Dado que el objetivo final del proyecto es la comparación entre las diferentes simulaciones, cuando se realizaron la tercera y la cuarta (impactador –vehículo con y sin defensa respectivamente) se decidió limitarlas a ese mismo intervalo temporal, aunque el coste computacional era mucho menor y era posible obtener resultados en aproximadamente un día. La diferencia de tiempo empleado entre el primer y segundo bloque de las simulaciones es debido a la geometría más complicada del dummy respecto a la del impactador.

No hay que olvidar que en este Proyecto Fin de Carrera el objetivo fundamental es analizar y conocer la influencia que tiene la defensa de un vehículo todoterreno en el atropello de un peatón. Para ello, se van a extraer y analizar aquellas magnitudes que están íntimamente relacionadas con la causa de lesiones en los peatones. Las variables a estudiar son las siguientes:

- ❖ Tensión.
- ❖ Aceleración en la dirección del movimiento.
- ❖ Deformaciones en la dirección del movimiento.
- ❖ Desplazamiento en la dirección del movimiento.

Como es obvio, 0,005 s es muy poco tiempo para realizar un análisis sobre un atropello, ni tan siquiera de la primera fase, el preimpacto. Los datos que se obtendrán serán valores menores a los que se obtendrían si se simulase todo el proceso completo pero bastarán para tener un acercamiento sobre cómo influye el primer impacto en el daño ocasionado al peatón.

En el anexo II se muestran las secuencias de cada simulación respecto a la evolución que presenta cada una de las tres magnitudes a estudiar.

A continuación, se pretende realizar un estudio de las zonas corporales que son más susceptibles de sufrir lesiones mientras que en el vehículo se pretende conocer qué elementos del vehículo son los que interfieren de manera más agresiva, con el objetivo de diseñarlas mejor en siguientes versiones del vehículo o nuevos modelos para minimizar el daño que producen en el peatón. Analizando la evolución de cada uno de

los atropellos (anexo II) se puede observar como el dummy es alcanzado hasta en tres zonas diferentes. Por tanto, las zonas corporales de un peatón que se van a estudiar son:

- ❖ Primer tercio del muslo.
- ❖ Tercio inferior del muslo.
- ❖ Pelvis.

Las zonas del vehículo que juegan un papel más importante en el atropello son:

- ❖ La defensa (primera y tercera simulación).
- ❖ El frontal (segunda y cuarta simulación)

El proceso llevado a cabo para realizar el análisis ha consistido en tomar aquel nodo que presentaba mayor tensión en cada una de las zonas seleccionadas anteriormente. Una vez elegidos dichos nodos se han extraído la evolución de la tensión, aceleración y desplazamiento que presentan respecto del tiempo.

El formato en el que se adjuntarán los datos a continuación es a través de gráficos, de esta forma se podrán ver, analizar y obtener conclusiones de una manera más sencilla y directa.

De manera general se puede comentar de cada tipo de gráfica lo siguiente:

- ❖ Gráfica de tensión: se analizará cómo evoluciona la tensión respecto del tiempo y el valor máximo que alcanza ya que dará idea del daño que sufre el peatón.
- ❖ Gráfica de aceleración: informa sobre la aceleración que experimenta el peatón durante el atropello. Cabe destacar que como el vehículo lleva un movimiento de traslación en sentido negativo del eje X, valores de aceleración negativos implican que el nodo a estudiar se está acelerando mientras que valores positivos indican deceleración. Independientemente del signo, se prestará atención al valor máximo.
- ❖ Gráfica de deformación: Se han obtenido todos los datos referentes a esta magnitud en cada una de las partes que se van a estudiar. Se ha podido comprobar que los resultados extraídos no aportan gran información al estudio ya que sus valores son muy pequeños. Por tanto, se realizarán ciertos apuntes respecto a esta magnitud a través de las gráficas del desplazamiento.
- ❖ Gráfica de desplazamiento: Informa de cómo varía la posición del nodo estudiado respecto del tiempo. Valores negativos en el desplazamiento indican que el nodo se desplaza en el sentido de marcha del vehículo.
 - En el caso del dummy y del impactador se mantienen en reposo inicialmente hasta el instante en el que son golpeados por el vehículo, este instante queda registrado en la gráfica cuando la curva cambia de

horizontal a una pendiente negativa, por lo que se podrá analizar cómo es desplazado por el vehículo y la deformación que experimenta.

- En el caso del vehículo, éste inicialmente lleva una velocidad inicial, por lo que al tratarse de una estructura rígida todos sus nodos se desplazan a la misma velocidad definida. En la gráfica se puede diferenciar el intervalo de tiempo en el que todavía no ha existido colisión ya que la curva es una recta de pendiente negativa y cuando se produce la colisión el nodo estudiado deja de avanzar a la misma velocidad inicial del vehículo, decelerándose el nodo y pudiendo analizar la deformación que experimenta.

En la siguiente figura se muestra cómo está orientado el sistema de referencia para saber interpretar los signos de los valores que aparezcan en las gráficas:

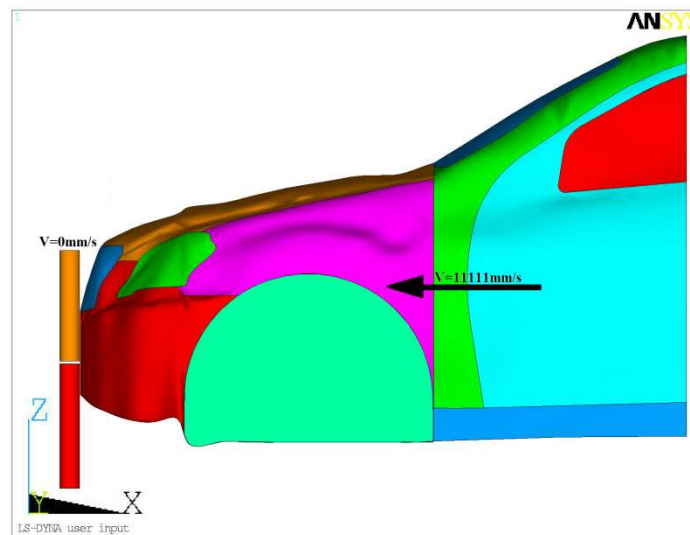


Figura 5.1 – Sistema de referencia y movimiento del vehículo.

Antes de comenzar a examinar cada una de las gráficas es preciso conocer la estructura de este capítulo. Existen tres grandes bloques:

- ❖ Primera y segunda simulación.
- ❖ Tercera y cuarta simulación.
- ❖ Todas las simulaciones.

En cada uno de los bloques se realizará el estudio de cada una de las zonas desde la perspectiva de la tensión, aceleración y deformación.

5.1 PRIMERA Y SEGUNDA SIMULACIÓN.

PRIMER TERCIO DEL MUSLO

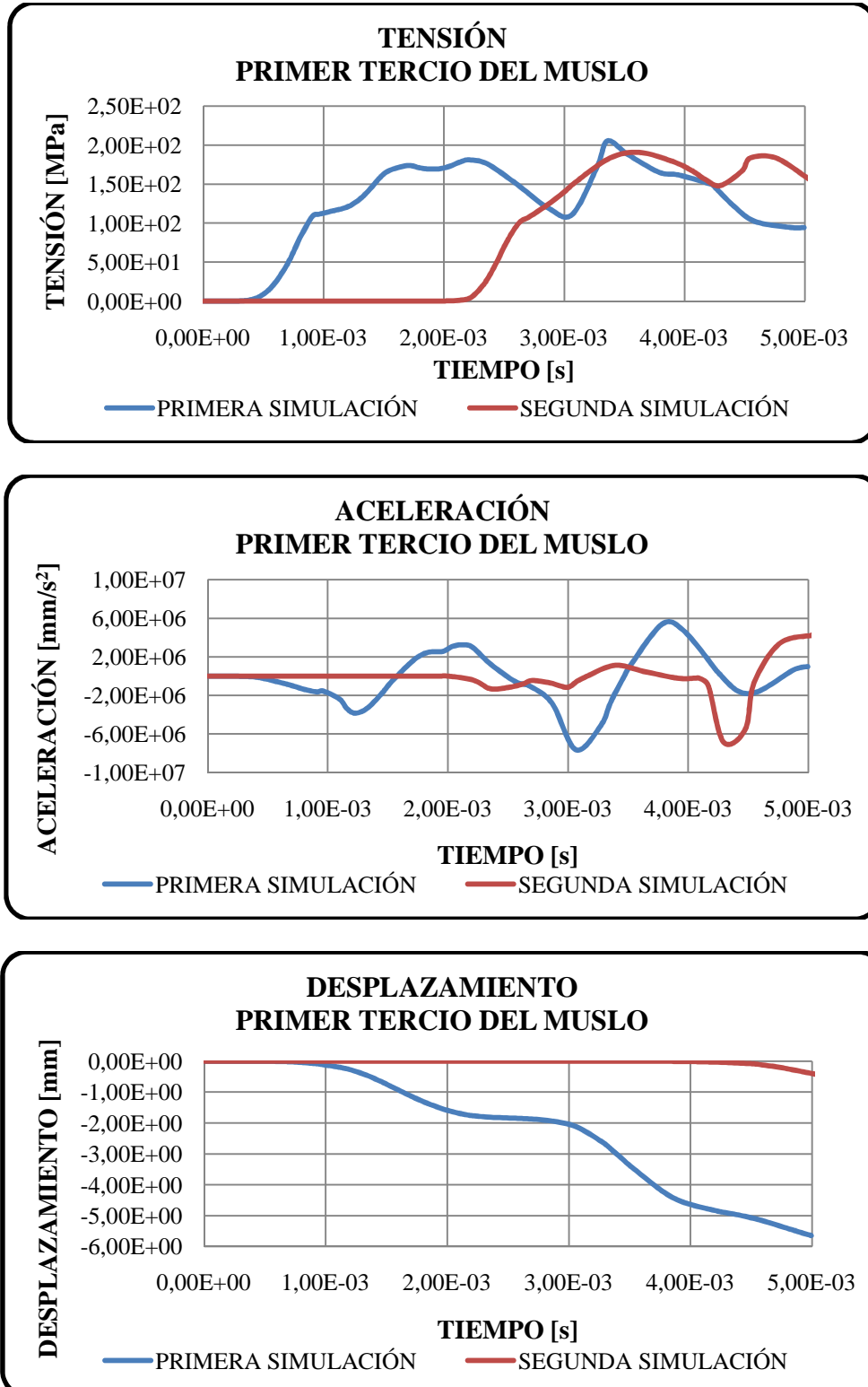


Gráfico 5.1 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en la primera y segunda simulación.

A la vista de estas tres gráficas se pueden extraer las siguientes conclusiones después de realizar un análisis de los resultados mostrados.

❖ Tensión: En la primera simulación, la tensión máxima registrada en la parte superior del muslo alcanza un valor de 205 MPa. En el caso de la segunda simulación alcanza un valor de 191 MPa, inferior a la anterior. Por tanto, el hecho de que se produzca un atropello con un vehículo que monta una defensa ocasiona mayor agresividad en el peatón que si ésta no estuviera.

Tabla 5.1 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	3,36E-03	205
Segunda simulación (sin defensa)	3,62E-03	191

❖ Aceleración: Los resultados obtenidos son más desfavorables para el peatón en el caso de la primera simulación ya que alcanza un mayor valor, $7,63 \cdot 10^6$ mm/s², mientras que en la segunda, $6,84 \cdot 10^6$ mm/s².

Tabla 5.2 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	3,06E-03	$-7,63 \cdot 10^6$
Segunda simulación (sin defensa)	4,29E-03	$-6,84 \cdot 10^6$

❖ Desplazamiento: En el caso de la primera simulación, el desplazamiento experimentado en la parte superior del muslo es de 5,64 mm, mientras que en la segunda simulación ha sido 2,53 mm. Esta diferencia es debida a que en la primera simulación el impacto es producido sobre la parte superior del muslo mientras que en la segunda simulación, la colisión se produce en la pelvis, desplazándose y desplazando posteriormente al muslo. Estos valores irán creciendo según vaya avanzando el tiempo de simulación.

Tabla 5.3 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-5,64
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	-2,53

TERCIO INFERIOR DEL MUSLO

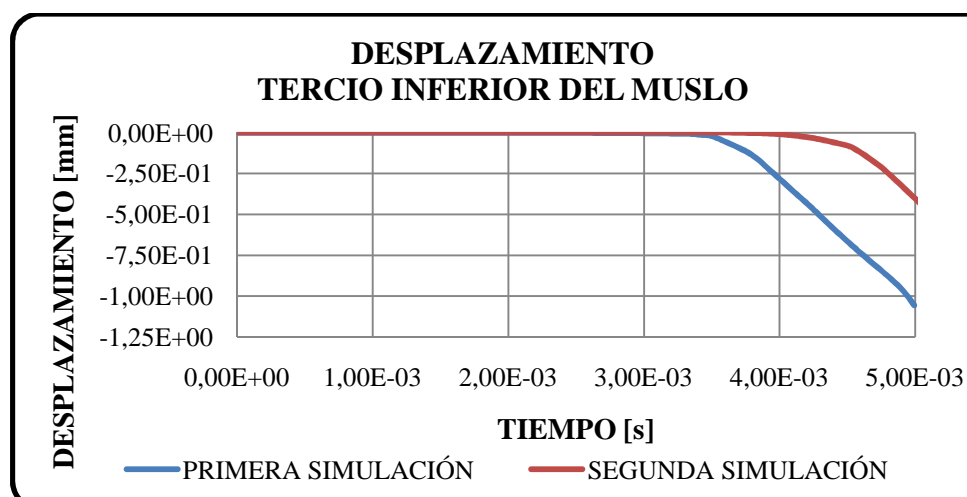
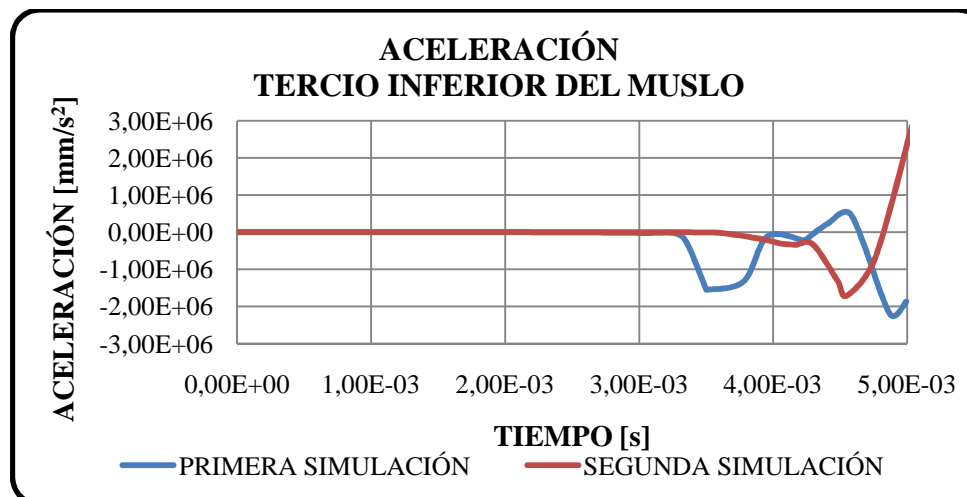
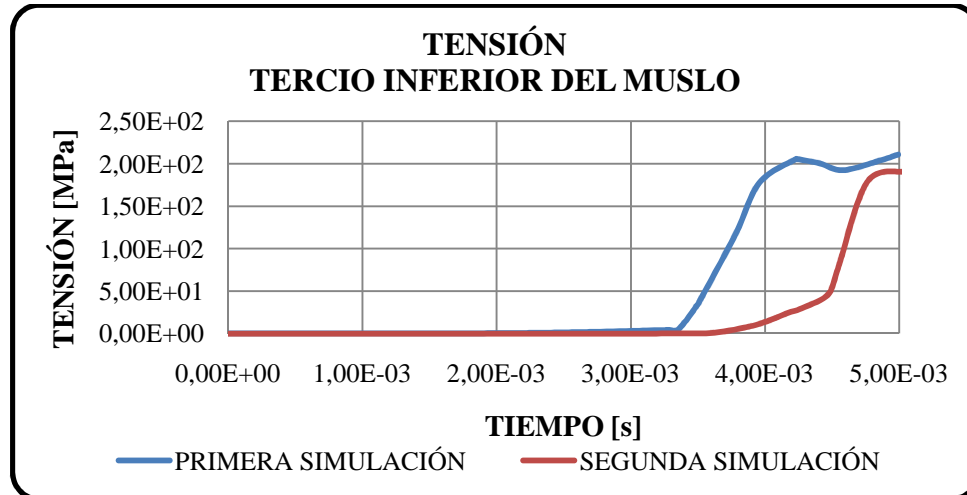


Gráfico 5.2 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en la primera y segunda simulación.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Se puede observar que en esta parte del dummy se empiezan a registrar datos más tarde que en la parte superior del muslo, tanto en la primera como en la segunda simulación. Además de esto, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

❖ Tensión: En las dos simulaciones, la tendencia de la curva de tensión es creciente alcanzando valores de 211 MPa y 191 MPa en la primera y segunda simulación respectivamente.

Tabla 5.4 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	211
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	191

❖ Aceleración: La evolución de la curva presenta oscilaciones cuya amplitud va creciendo al paso del tiempo. Los valores máximos obtenidos son $-2,20 \cdot 10^6$ mm/s² en la primera simulación y $2,86 \cdot 10^6$ mm/s² en la segunda. En este caso, es más perjudicial la segunda simulación donde el vehículo no tiene defensa.

Tabla 5.5 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	4,87E-03	$-2,20 \cdot 10^6$
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	$2,86 \cdot 10^6$

❖ Desplazamiento: El desplazamiento experimentado en la zona rotuliana del muslo, tanto en la primera como en la segunda simulación, es menor que el ocasionado en la zona superior del muslo. En el caso de la primera simulación, la barra secundaria de la defensa comienza a impactar con el tercio inferior del muslo tiempo después de haber impactado la barra principal de la defensa en la zona superior del muslo. Por este motivo, el valor alcanzado en esta parte es menor. En el caso de la segunda simulación, el impacto se produce en la pelvis desplazándola y desplazando al muslo pero en menor medida. Según avanzase la simulación los desplazamientos irían incrementándose. Los desplazamientos registrados son:

Tabla 5.6 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-1,06
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	$-4,31 \cdot 10^{-1}$

PELVIS

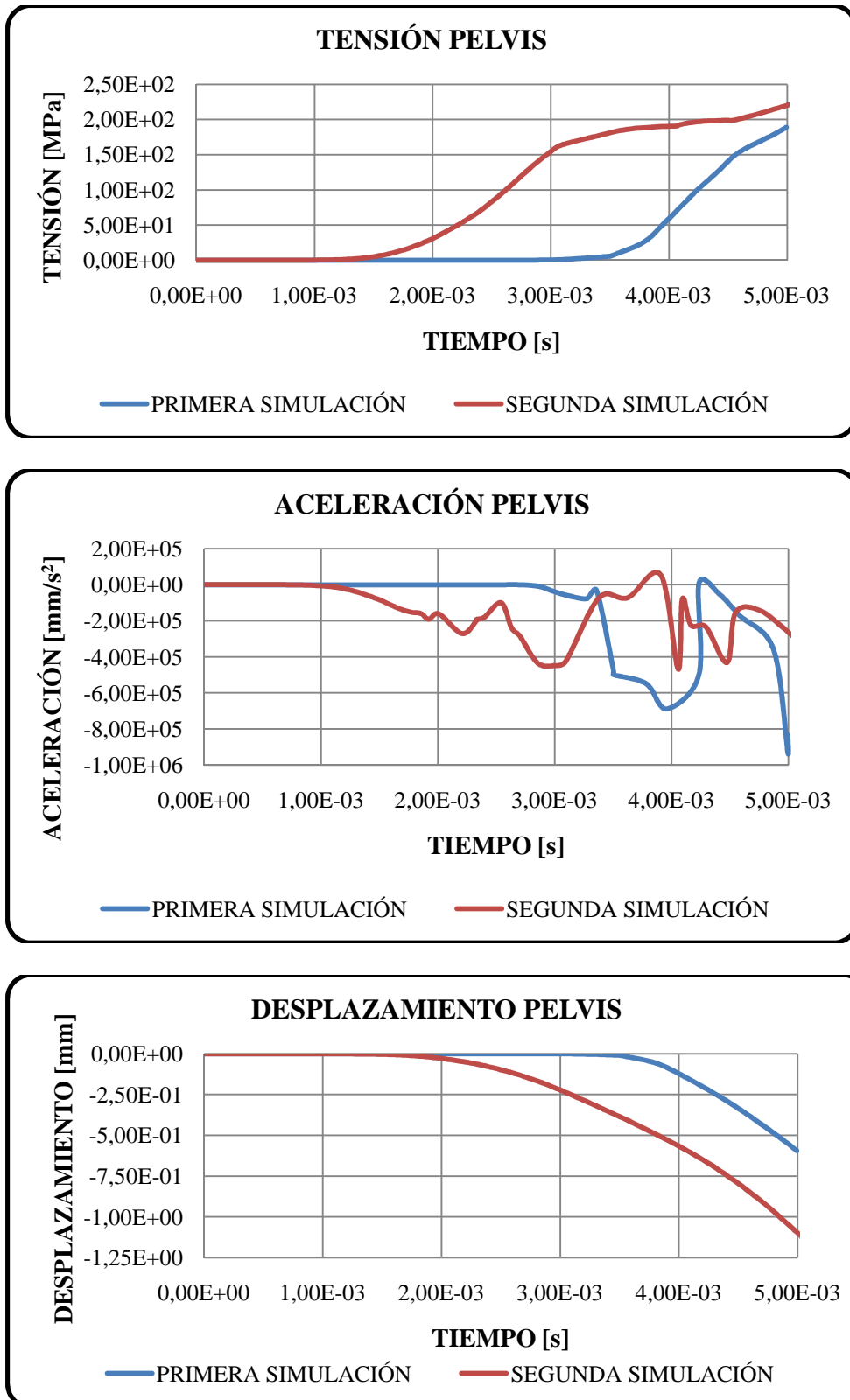


Gráfico 5.3 – Tensión, aceleración y desplazamiento en la pelvis obtenidas en la primera y segunda simulación.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ Tensión: Las curvas son puramente ascendentes alcanzando al final de la simulación sus valores máximos: 189 MPa en la primera simulación y 222 MPa en la segunda. Un detalle a destacar es que la segunda simulación comienza a registrar datos mucho antes que la primera. Esto es debido a que en la segunda simulación no existe defensa y por ello el vehículo impacta primeramente con, la pelvis. En cambio, cuando existe defensa (primera simulación), las lesiones producidas en la pelvis son provocadas por el tremendo impacto y desplazamiento del fémur a través de la articulación coxofemoral. Aún siendo mayor la tensión registrada en la segunda simulación sería necesario continuar con la simulación para valorar cuál de las dos es más agresiva hacia el peatón ya que se trata de una articulación muy relevante.

Tabla 5.7 – Tensiones máximas en la pelvis en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	189
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	222

❖ Aceleración: En cuanto a la aceleración se trata nuevamente de curvas oscilantes cuya amplitud tiene una tendencia creciente. Los valores máximos registrados para la primera y segunda simulación son $-9,29 \cdot 10^5 \text{ mm/s}^2$ y $-4,69 \cdot 10^5 \text{ mm/s}^2$ respectivamente. Aunque se experimenta una mayor tensión en la segunda simulación, en la primera se registra una mayor aceleración.

Tabla 5.8 – Aceleraciones máximas en la pelvis en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s^2)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	$-9,29 \cdot 10^5$
Segunda simulación (sin defensa)	4,06E-03	$-4,69 \cdot 10^5$

❖ Desplazamiento: En el caso de la segunda simulación, el vehículo impacta directamente sobre la pelvis siendo éste el motivo de haber registrado mayor desplazamiento, 1,12 mm, mientras que en la primera se desplaza 0,59 mm ya que el impacto con esta zona del dummy se produce ya avanzada la simulación.

Tabla 5.9 – Desplazamientos máximos en la pelvis en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	$-5,94 \cdot 10^{-1}$
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	-1,12

VEHÍCULO

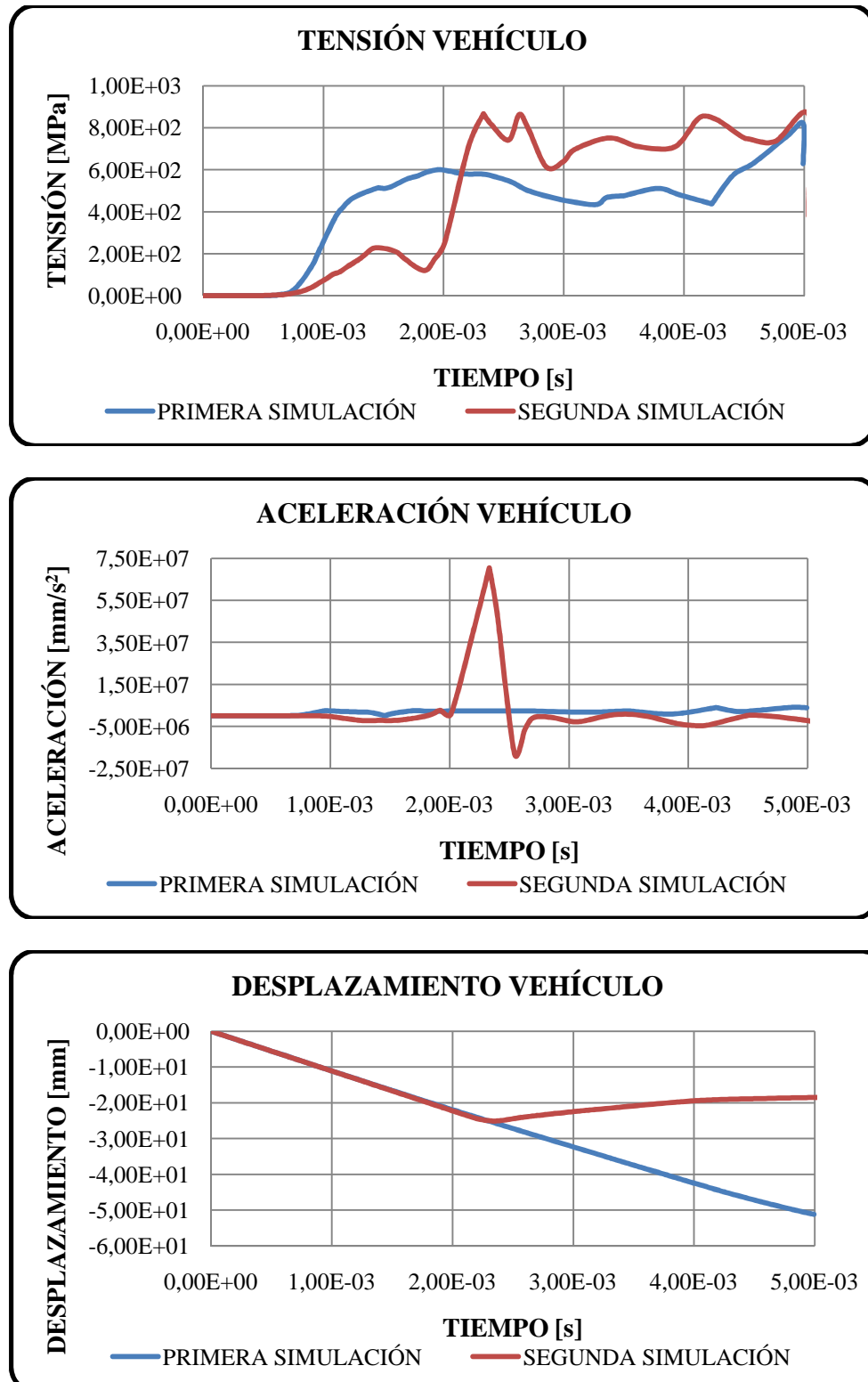


Gráfico 5.4 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en la primera y segunda simulación.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ Tensión: Como se puede observar, ambas curvas son crecientes, pero la debida a la segunda simulación alcanza valores mayores. Esto es debido a que mientras que en la primera simulación sólo contacta el muslo con la defensa, en la segunda simulación comienza impactando con la pelvis pero acaba colisionando también con el muslo, aumentando la tensión sobre el frontal del vehículo. Los valores máximos alcanzados para la primera y segunda simulación son 821 MPa y 867 MPa respectivamente.

Tabla 5.10 – Tensiones máximas en el vehículo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	821
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	867

❖ Aceleración: La segunda simulación presenta un pico cuyo valor, $7,04 \cdot 10^7$ mm/s², es un orden de magnitud mayor que el valor máximo calculado en la primera simulación, $3,96 \cdot 10^6$ mm/s². Esto es ocasionado porque en ese instante de tiempo el vehículo, que estaba en contacto con la pelvis del dummy, impacta bruscamente con los muslos. Las aceleraciones son positivas por lo que estas partes del vehículo están decelerando.

Tabla 5.11 – Aceleraciones máximas en el vehículo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	4,87E-03	$3,96 \cdot 10^6$
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	$7,04 \cdot 10^7$

❖ Desplazamiento: En el caso del vehículo no interesa especialmente el desplazamiento máximo porque no siempre aporta información interesante para el estudio. En general se puede comentar que existe un primer tramo en el que la pendiente no varía, este tramo corresponde al desplazamiento del vehículo antes de la colisión. Después de la colisión, la pendiente de la curva varía, siendo este tramo el que aporta datos relevantes. En ambas curvas, la pendiente del desplazamiento deja de ser tan pronunciada ya que el nodo estudiado se ve deformado por el impacto sufrido. En el caso de la primera simulación, que hace referencia a la defensa, se observa como la colisión no provoca grandes variaciones en la curva por lo que no se deforma mucho. En cambio, en la curva correspondiente al frontal del vehículo se observa cómo sufre cambios importantes, ofreciendo información sobre la deformación que sufre dicha parte del vehículo. El hecho de que sea capaz de deformarse implica que el dummy atropellado sufra daños menores ya que el vehículo es capaz de absorber parte de la energía de la colisión.

Tabla 5.12 – Desplazamientos máximos en el vehículo en la primera y segunda simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-51,2
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	-25,1

5.2 TERCERA Y CUARTA SIMULACIÓN.

PRIMER TERCIO DEL MUSLO

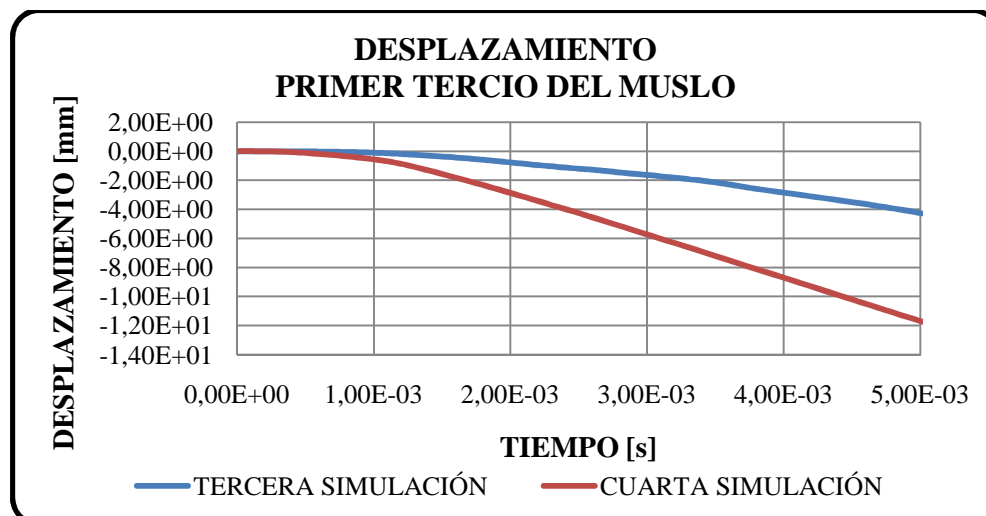
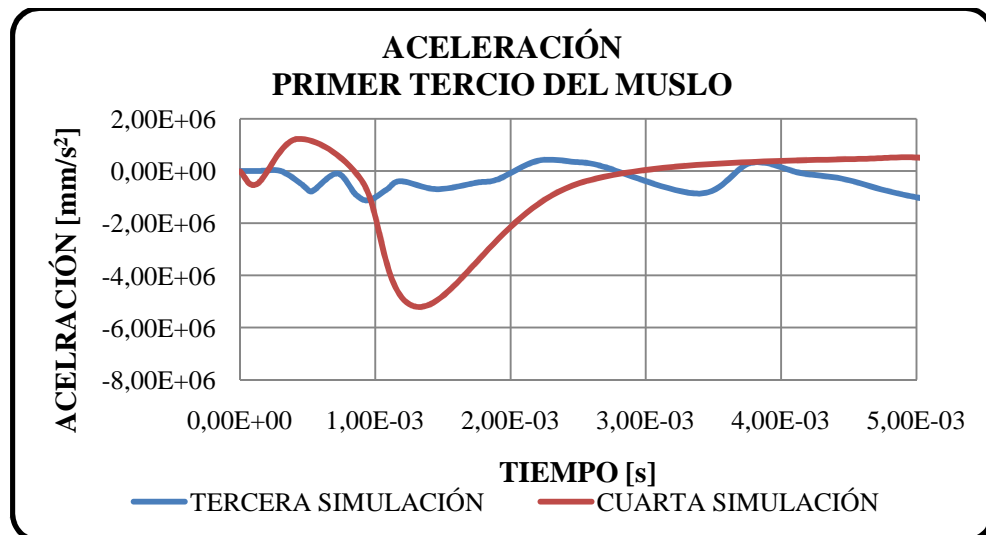
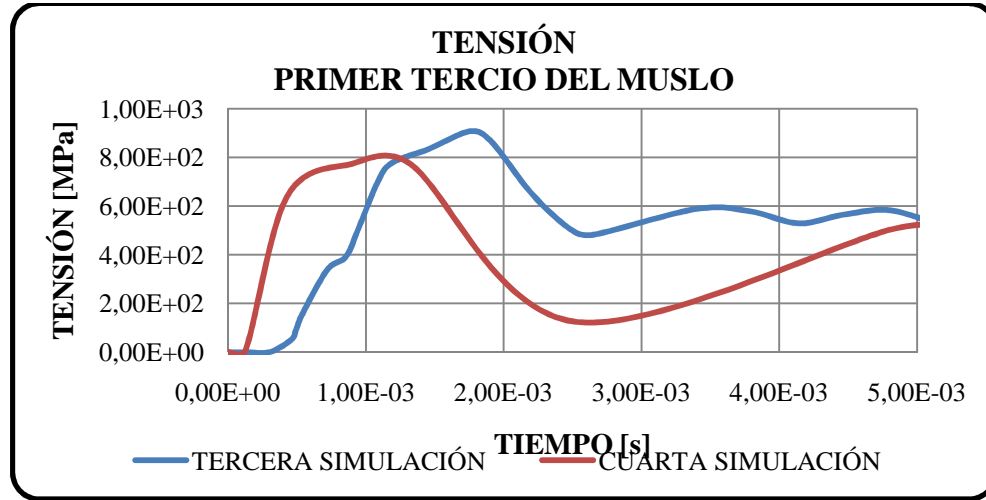


Gráfico 5.5 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ Tensión: Analizando la gráfica se puede observar que cuando el vehículo incorpora la defensa es más perjudicial, ya que el impactador registra en el primer tercio del muslo el valor más elevado, 906 MPa. Además, registra valores mayores durante todo el intervalo de tiempo simulado. En cuanto a la cuarta simulación, cuando el vehículo no monta la defensa, se alcanza un valor de 773 MPa, pero el resto del tiempo disminuye considerablemente la tensión en esta zona.

Tabla 5.13 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Tercera simulación (con defensa)	1,76E-03	906
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	773

❖ Aceleración: Según esta magnitud resulta más perjudicial cuando el atropello se produce con un vehículo sin defensa. Esto es debido a que el vehículo colisiona con el impactador al completo, acelerándolo de tal manera que llega a alcanzar la velocidad del automóvil. En cambio, en el caso con defensa, las aceleraciones son elevadas pero más uniformes, ya que existen desplazamientos longitudinales y rotacionales respecto al punto de impacto entre la defensa y el muslo.

Tabla 5.14 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Tercera simulación (con defensa)	9,52E-04	-1,11·10 ⁶
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	-5,21·10 ⁶

❖ Desplazamiento: Como se observa en la gráfica 5.5, el desplazamiento máximo registrado en el primer tercio del muslo en la tercera simulación es de 4,35 mm, mientras que en la cuarta simulación es de 12,4 mm. La explicación de la diferencia de desplazamientos entre las dos simulaciones es que en la cuarta simulación, el vehículo colisiona con el impactador al completo, acelerándolo mientras que en la tercera simulación sólo impacta con la zona superior.

Tabla 5.15 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-4,35
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-12,4

TERCIO INFERIOR DEL MUSLO

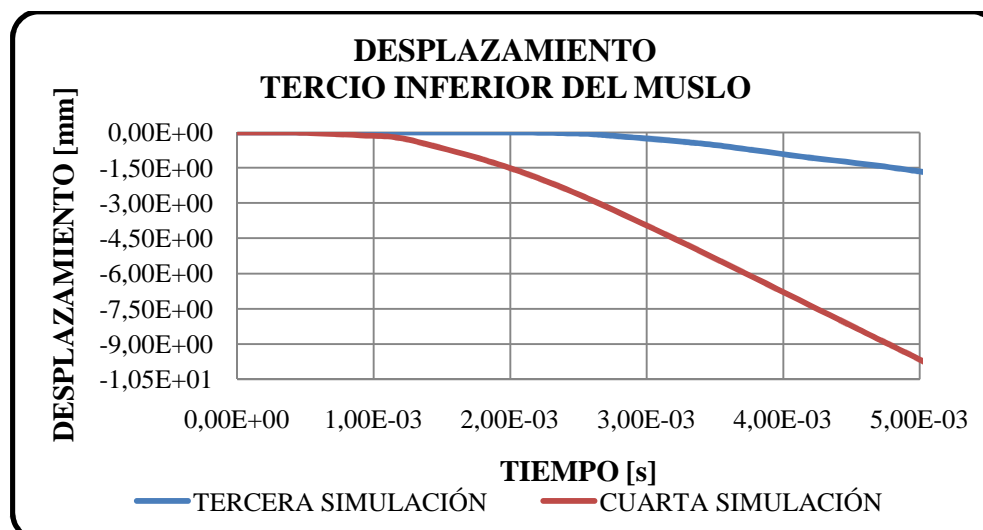
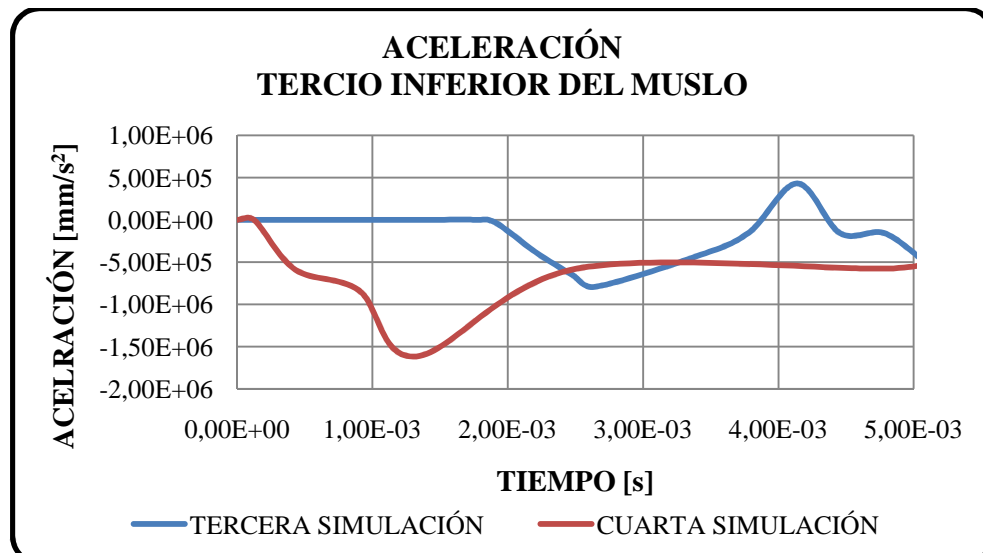
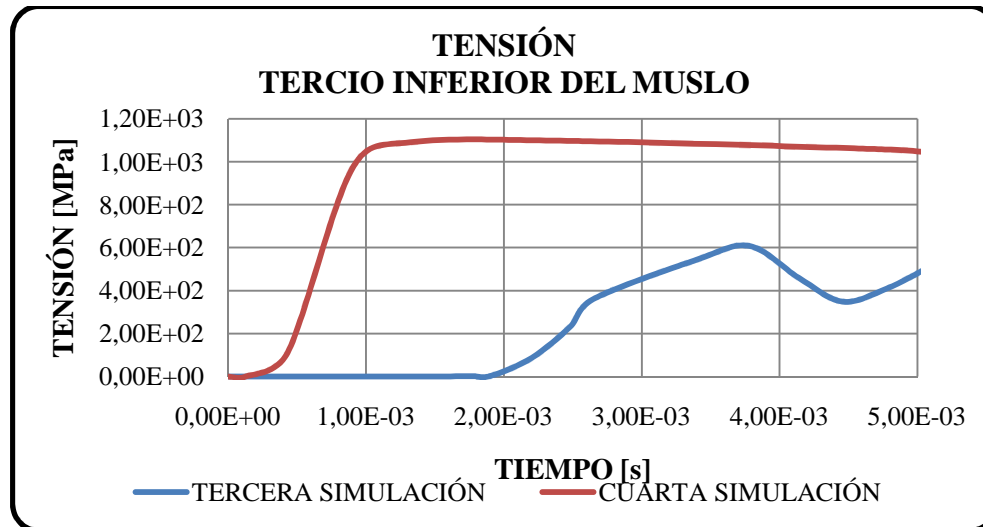


Gráfico 5.6 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.

❖ Tensión: Cuando el atropello se produce con un vehículo todoterreno sin ningún extra en el frontal, ocasiona mayor daño en el tercio inferior del muslo que cuando existe defensa. La explicación radica en que al no existir la defensa, la colisión se produce entre el parachoques y el frontal inferior del vehículo que golpean violentamente la zona inferior del muslo e incluso alcanzan la articulación de la rodilla. En cambio, si se observa la tercera simulación, cuando el automóvil dispone de defensa, comienza a registrar datos mucho más tarde, coincidiendo con el momento en el que la parte inferior del muslo colisiona con la segunda barra transversal de la defensa. Se puede afirmar que en cuanto a esta magnitud y basándose en estos ensayos con impactador, el tercio inferior del muslo sufre mucho más cuando el vehículo no dispone de defensa.

Tabla 5.16 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Tercera simulación (con defensa)	3,78E-03	608
Cuarta simulación (sin defensa)	2,51E-03	1100

❖ Aceleración: Vuelve a alcanzar valores superiores la cuarta simulación, llegando a $-1,62 \cdot 10^6$ mm/s², mientras que la tercera registra $-7,93 \cdot 10^5$ mm/s². Los valores que se han obtenido en la cuarta simulación son todos negativos por lo que significa que el impactador se está acelerando ya que es empujado por el vehículo. En cambio, fijándose en la curva perteneciente a la tercera simulación se puede observar como alcanza tanto valores negativos como positivos. Esto significa que la parte inferior del muslo no sólo es arrastrada por el vehículo durante el atropello sino que tiene movimientos rotacionales.

Tabla 5.17 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Tercera simulación (con defensa)	2,65E-03	$-7,93 \cdot 10^5$
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	$-1,62 \cdot 10^6$

❖ Desplazamiento: Debido a que el todoterreno sin defensa, cuarta simulación, colisiona con el impactador en la zona inferior del muslo directamente, provoca un gran desplazamiento en esta zona, 10,4 mm. En la tercera simulación, la colisión con el impactador en esta zona provocan un desplazamiento de 1,70 mm, un orden de magnitud menor. Esto es debido a que, ya avanzada la simulación, colisiona con la barra secundaria de la defensa, no dando tiempo a alcanzar mayores valores de desplazamiento.

Tabla 5.18 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-1,70
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-10,4

VEHÍCULO

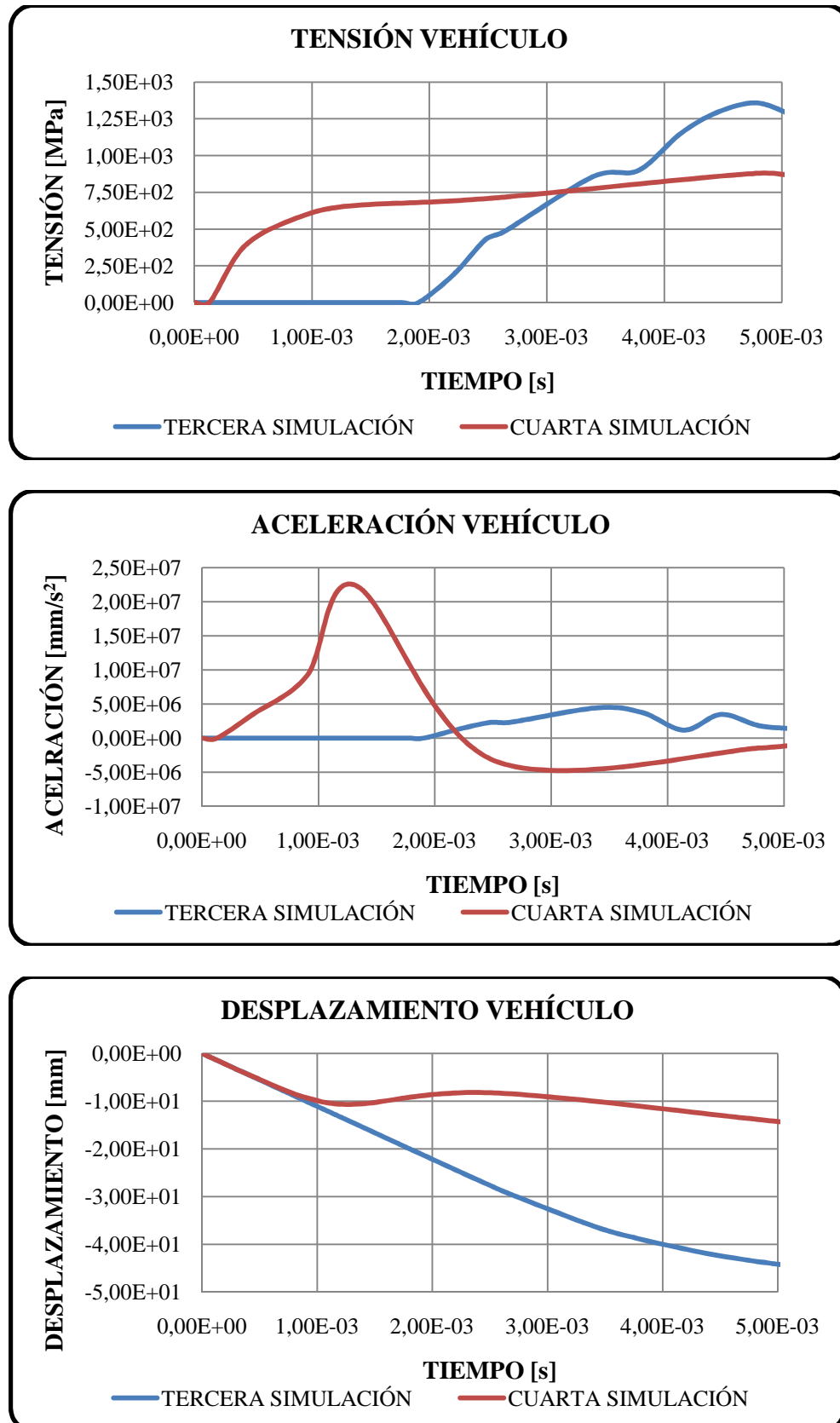


Gráfico 5.7 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en la tercera y cuarta simulación.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ Tensión: Ambas curvas son crecientes, pero la correspondiente a la tercera simulación tiene una pendiente superior a la correspondiente a la cuarta simulación. Los valores máximos son 1360 y 879 MPa respectivamente.

Tabla 5.19 – Tensiones máximas en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (Pa)
Tercera simulación (con defensa)	4,78E-03	1360
Cuarta simulación (sin defensa)	4,81E-03	879

❖ Aceleración: Cuando no existe la defensa, el impactador al completo choca, casi en el mismo instante de tiempo, con el vehículo, provocando que la chapa de este último se decelere hasta alcanzar un valor máximo de $2,24 \cdot 10^7 \text{ mm/s}^2$ y deformando la estructura del vehículo. En cambio, la defensa, como se ve en la curva relativa a la tercera simulación, no se ve afectada de la misma manera, alcanzando un valor máximo de $4,43 \cdot 10^6 \text{ mm/s}^2$, un orden de magnitud inferior.

Tabla 5.20 – Aceleraciones máximas en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s^2)
Tercera simulación (con defensa)	3,39E-03	$4,43 \cdot 10^6$
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	$2,24 \cdot 10^7$

❖ Desplazamiento: Al igual que en el primer bloque, esta gráfica ha de interpretarse de manera diferente. Existen dos tramos en la curva pero sólo aporta información el segundo tramo puesto que es donde comienza a producirse la colisión entre el vehículo y el impactador. La defensa, representada en la curva correspondiente a la tercera simulación, no se ve muy afectada durante el impacto puesto que no se aprecian grandes cambios en la curva del desplazamiento. En cambio, en la curva correspondiente a la cuarta simulación se aprecia como al colisionar el impactador, se produce un cambio brusco en la pendiente de la curva. Esto indica que el frontal del vehículo se está deformando, siendo menos perjudicial en los daños ocasionados al peatón.

Tabla 5.21 – Desplazamientos máximos en el vehículo en la tercera y cuarta simulación.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-44,4
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-14,9

5.3 TODAS LAS SIMULACIONES.

PRIMER TERCIO DEL MUSLO.

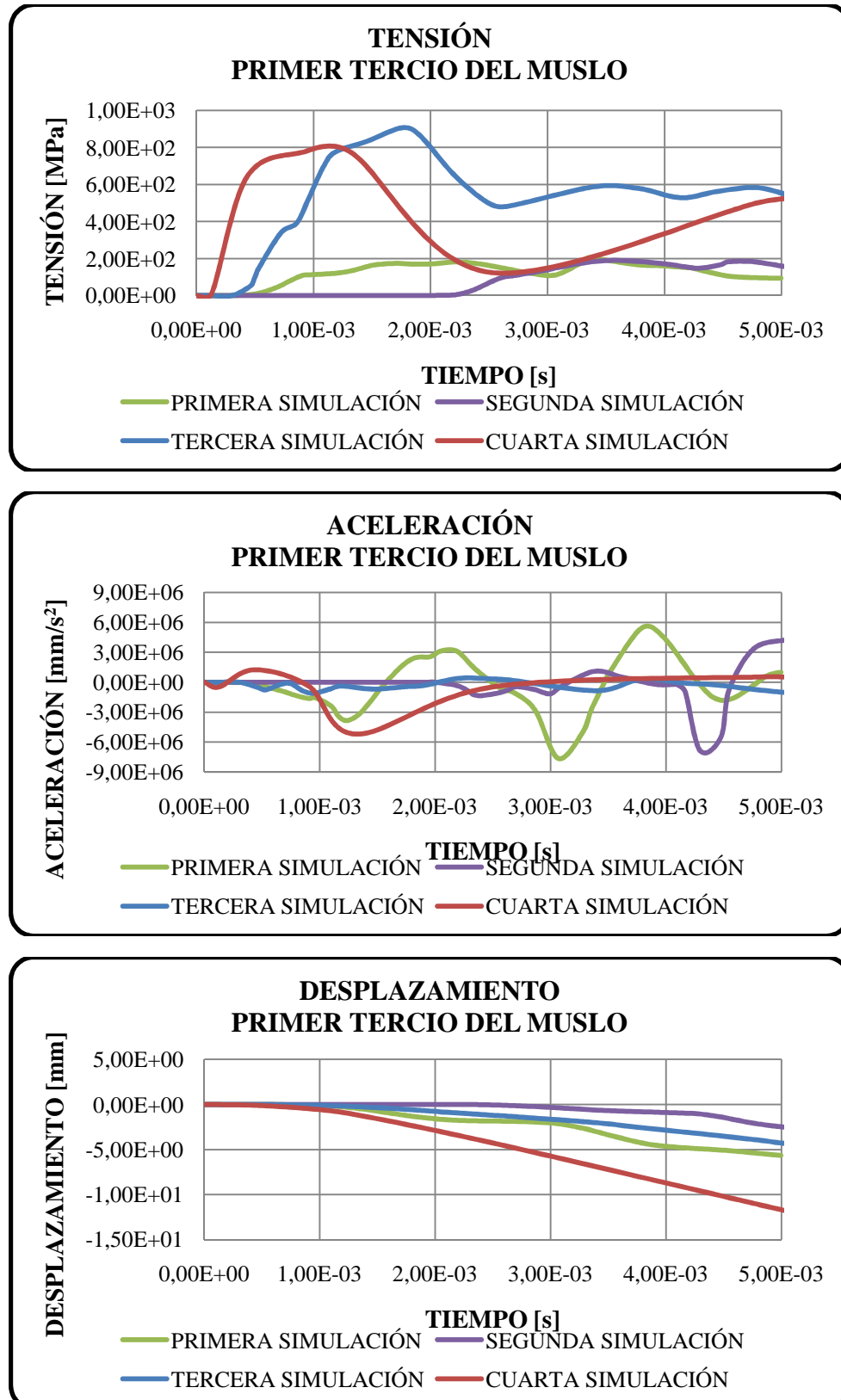


Gráfico 5.8 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el primer tercio del muslo obtenidas en las simulaciones.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ Tensión: Como se puede observar existe una clara distinción entre las curvas pertenecientes al primer bloque, ensayos con el dummy, y al segundo bloque, ensayos con el impactador. Esto es debido a la geometría y masas tan diferentes que presentan los subsistemas con los que se ha realizado cada simulación de atropello. Aun así, ya sea con un dummy o con un impactador, los ensayos confirman que un vehículo con defensa es más agresivo durante el atropello, al menos en la zona superior del muslo, afectando directamente a la articulación coxofemoral.

Tabla 5.22 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	3,36E-03	205
Segunda simulación (sin defensa)	3,62E-03	191
Tercera simulación (con defensa)	1,76E-03	906
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	773

❖ Aceleración: Aunque sigue existiendo una clara diferencia entre ambos bloques, las curvas relativas a la primera y segunda simulación registran datos más elevados, al contrario que en la tensión. Las cuatro curvas son ondulatorias entre valores positivos y negativos lo que significa que no sólo existe una aceleración lineal, ésta que se está estudiando, sino que también existe una aceleración angular que sería interesante estudiar en el caso de continuar las simulaciones.

Tabla 5.23 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	3,06E-03	-7,63·10 ⁶
Segunda simulación (sin defensa)	4,29E-03	-6,84·10 ⁶
Tercera simulación (con defensa)	9,52E-04	-1,11·10 ⁶
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	-5,21·10 ⁶

❖ Desplazamiento: En las cuatro curvas se aprecia que la parte superior del muslo se desplaza. Mientras que en la primera y tercera simulación, donde el vehículo lleva anclada la defensa, las gráficas son muy similares, en la segunda y cuarta presentan datos totalmente distintos. Esto se produce porque en la segunda simulación la zona del dummy que impacta con el vehículo es la pelvis, afectando poco al primer tercio del muslo. En cambio, en la cuarta simulación no existe tal pelvis y es el propio impactador el que colisiona directamente con el frontal del vehículo generando en él una mayor deformación.

Tabla 5.24 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-5,64
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	-2,53
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-4,35
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-12,4

TERCIO INFERIOR DEL MUSLO.

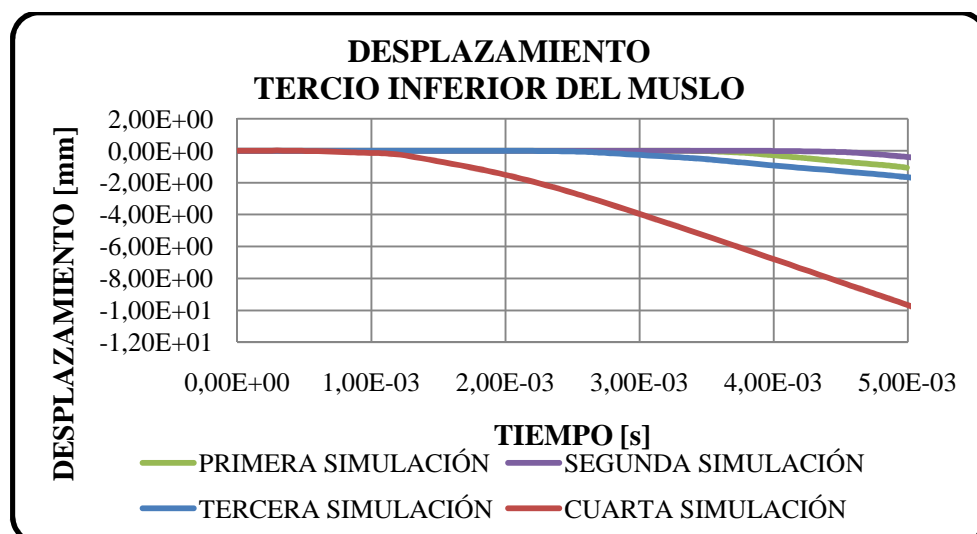
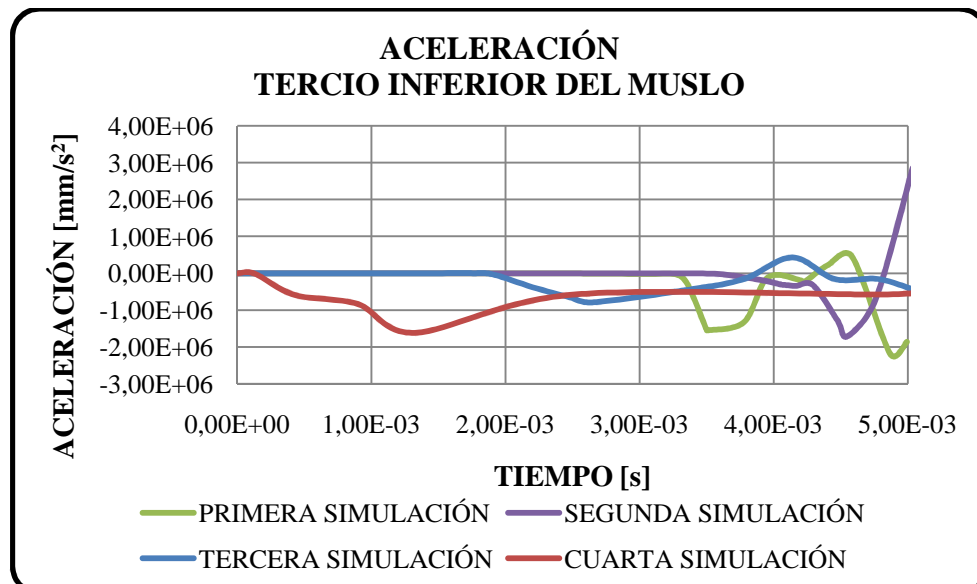
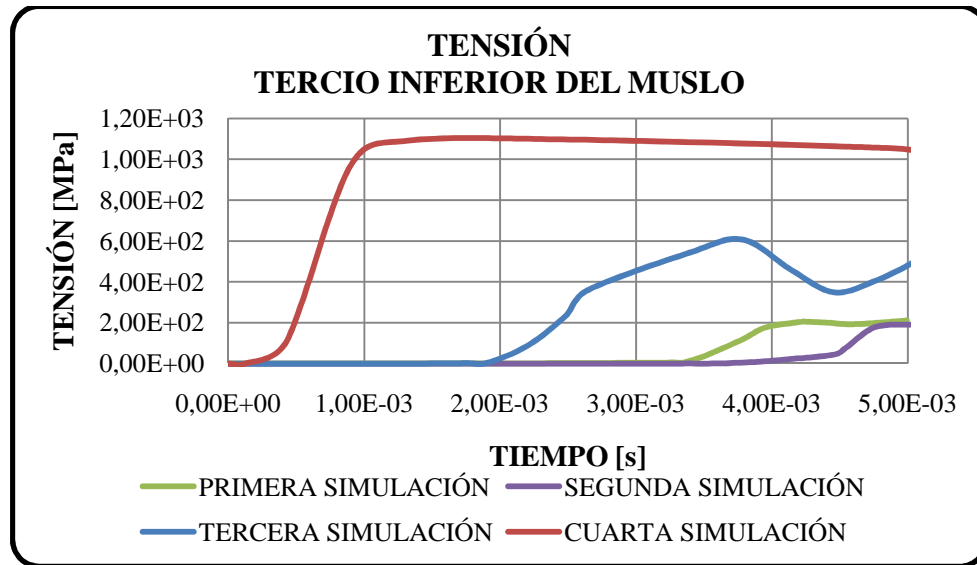


Gráfico 5.9 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el tercio inferior del muslo obtenidas en las simulaciones.

❖ Tensión: También en esta parte existe una gran diferencia entre los dos bloques de simulaciones. Del mismo modo que antes, es debido a la geometría y masas que caracterizan cada subsistema. La diferencia existente entre la segunda y cuarta simulación es debida a que el impacto producido en la segunda simulación se produce con la pelvis del dummy y, más avanzada la simulación del atropello, es cuando el tercio inferior del muslo impacta y empieza a registrar datos. En cambio, en la cuarta simulación el impacto se produce entre la zona inferior del frontal del vehículo, el parachoques, y la zona rotuliana del impactador, provocando que las tensiones sufridas sean mucho más elevadas que las pertenecientes a la segunda simulación.

Tabla 5.25 – Tensiones máximas en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	211
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	191
Tercera simulación (con defensa)	3,78E-03	608
Cuarta simulación (sin defensa)	2,51E-03	1100

❖ Aceleración: No ofrece gran información ya que los valores representados en cada una de las curvas son muy similares.

Tabla 5.26 – Aceleraciones máximas en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	4,87E-03	-2,20·10 ⁶
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	2,86·10 ⁶
Tercera simulación (con defensa)	2,65E-03	-7,93·10 ⁶
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	-1,62·10 ⁶

❖ Desplazamiento: Con toda la información explicada anteriormente se puede abordar la gráfica de desplazamientos (gráfica 5.9). Las curvas referidas a la primera y tercera simulación registran valores bajos debido a que el impacto no se produce en esta zona del dummy hasta transcurrido un tiempo en el que comienza a colisionar con la segunda barra transversal de la defensa. Respecto a la curva de la segunda simulación, no ha registrado datos elevados debido a lo explicado en las gráficas precedentes: la colisión se produce entre la pelvis y no con el tercio inferior del muslo hasta ya bien avanzada la simulación. Destaca entre las cuatro curvas la referente a la cuarta simulación ya que indica un mayor desplazamiento. Esto ocurre porque no existe pelvis y el impactador colisiona con el parachoques del vehículo todoterreno directamente.

Tabla 5.27 – Desplazamientos máximos en el tercio inferior del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-1,06
Segunda simulación (sin defensa)	5,04E-03	-4,31·10 ⁻¹
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-1,7
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-10,4

VEHÍCULO.

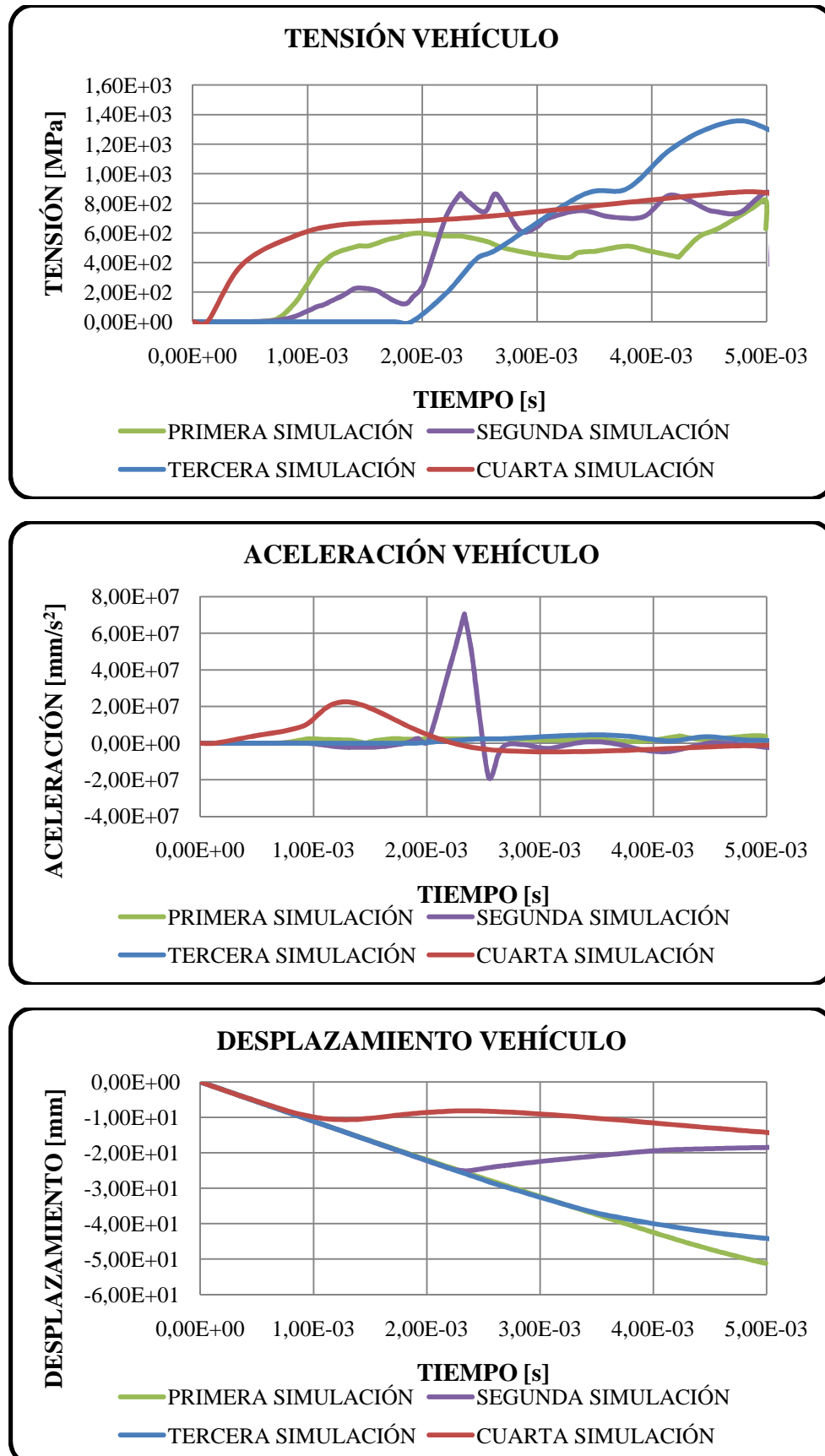


Gráfico 5.10 – Tensión, aceleración y desplazamiento en el vehículo obtenidas en las simulaciones.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

❖ **Tensión:** En cuanto a las simulaciones relacionadas con el vehículo con defensa se puede comentar que los mayores valores de tensión se alcanzan en la que se realiza con el impactador. Esto es debido a que el área de contacto entre la defensa y el subsistema es menor que la que hay con el dummy. Centrándose ahora en las gráficas de la segunda y cuarta simulación se puede observar como los valores que registra el vehículo durante el impacto pelvis-frontal, segunda simulación, son bajos pero en el instante en que impactan los muslos aumenta considerablemente. Analizando la curva de la cuarta simulación se aprecia como en la colisión impactador-frontal, la tensión crece rápidamente y cuando el subsistema impacta completamente comienza a crecer la curva más lentamente.

Tabla 5.28 – Tensiones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Tensión Máx (MPa)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	821
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	867
Tercera simulación (con defensa)	4,78E-03	1360
Cuarta simulación (sin defensa)	4,81E-03	879E+02

❖ **Aceleración:** Las aceleraciones que experimenta la defensa del todoterreno en la primera y tercera simulación son prácticamente idénticas por lo que no influye el tipo de subsistema utilizado. En cambio entre las simulaciones segunda y cuarta existen dos picos que es interesante analizar. Ambos picos corresponden exactamente al momento en el que vehículo-subsistema impactan. El hecho de que la curva de la segunda simulación registre un mayor valor es por causa de la mayor masa que caracteriza al dummy.

Tabla 5.29 – Aceleraciones máximas en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Aceleración Máx (mm/s ²)
Primera simulación (con defensa)	4,87E-03	3,96·10 ⁶
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	7,04·10 ⁷
Tercera simulación (con defensa)	3,39E-03	4,43·10 ⁶
Cuarta simulación (sin defensa)	1,32E-03	2,24·10 ⁷

❖ **Desplazamiento:** Comparando los datos extraídos de los dos bloques anteriores, resumidos en la siguiente tabla, se puede concluir que la defensa del vehículo (primera y tercera simulación) ha registrado desplazamientos positivos menores que en la zona frontal del vehículo (segunda y cuarta simulación). Esto implica que el frontal del vehículo es capaz de deformarse absorbiendo la energía del impacto y por tanto reduciendo la agresividad del atropello mientras que la defensa se comporta como un sólido rígido por lo que es altamente dañino durante un atropello.

Tabla 5.30 – Desplazamientos máximos en el primer tercio del muslo en todas las simulaciones.

	Tiempo (s)	Desplazamiento Máx (mm)
Primera simulación (con defensa)	4,99E-03	-51,2
Segunda simulación (sin defensa)	2,33E-03	-25,1
Tercera simulación (con defensa)	5,06E-03	-44,4
Cuarta simulación (sin defensa)	5,25E-03	-14,9

5.4 CONCLUSIONES

A la vista del análisis de los datos que se ha llevado a cabo en este capítulo, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

En el análisis de los resultados únicamente se han tenido en cuenta los valores de aceleraciones y tensiones máximos, o picos, y no la duración de ellos. Se sabe que la duración de la aceleración que sufre cualquier parte del cuerpo tiene una gran importancia en el daño que sufre éste, comparable incluso con el valor máximo de la aceleración. A pesar de esta limitación, los datos recogidos han permitido realizar un estudio comparativo entre cada una de las simulaciones y cada una de las partes afectadas durante el atropello pudiendo de esta forma conocer el daño relativo que sufre el peatón.

En las simulaciones realizadas con el subsistema impactador se han obtenido valores más elevados de manera general. Estos datos no son finales pues necesitan ser extrapolados a un estado real y con ellos poder obtener conclusiones. No obstante, no se ha centrado el estudio en la comparación de los resultados obtenidos mediante un sistema de tamaño real, dummy, y un subsistema sino que se ha basado en comparar en cada bloque de simulaciones qué zonas del dummy y automóvil han obtenido valores más elevados en cada una de las simulaciones.

Tanto en las simulaciones con el dummy como con el impactador se han obtenido las mismas conclusiones:

- ❖ El primer tercio superior del muslo es la zona corporal del peatón que más daño sufre cuando el atropello se produce con un todoterreno que lleva anclada una defensa. Sufrir un impacto brusco en esta zona de las extremidades inferiores, puede provocar gran cantidad de lesiones. Como se puede contrastar en las gráficas, las tensiones y aceleraciones registradas en esta zona son muy elevadas debido a que el impacto del vehículo se focaliza en un punto reducido de la pierna, no ocurriendo lo mismo en el tercio inferior del muslo, como se verá más adelante. Este tipo de sucesos pueden desembocar en lesiones como pueden ser la rotura del fémur (una de las lesiones más dolorosas que puede sufrir una persona), daño en la zona posterior de la pelvis ocasionado por el desplazamiento del fémur a través de la articulación coxofemoral ya que la comprime, etc.
- ❖ El tercio inferior del muslo es alcanzado con mayor agresividad cuando el atropello es realizado con un vehículo todoterreno sin defensa. Salvo en la segunda simulación, donde el impacto se produce en la pelvis, desvirtuando un poco los datos obtenidos. Las lesiones principales producidas en esta zona de las extremidades inferiores del peatón son muy diversas, tal y como se apuntó en el capítulo de lesiones, siendo fracturas y esguinces las más comunes.
- ❖ La pelvis se ha visto afectada en la segunda simulación, ya que ha sido la primera zona del peatón que ha contactado con el frontal del vehículo desplazándola en el sentido de la marcha del vehículo y pudiendo ocasionar

lesiones importantes en la misma pelvis y en la articulación coxofemoral. Tal y como se apuntó en el capítulo destinado a las lesiones que pueden sufrir los peatones al ser atropellado, las fracturas de pelvis son muy inestables, tanto, que son las que mayor riesgo vital suponen para el peatón, dentro siempre de las lesiones del aparato locomotor.

- ❖ Las zonas del vehículo que se ven implicadas en un atropello como el que se ha estudiado en este Proyecto, son la defensa, en caso de existir; y el parachoques, zona de la entrada de aire al radiador y la zona inferior del capó. Cuando el atropello se produce con un vehículo que no lleva defensa, el frontal del mismo es menos agresivo ya que es capaz de deformarse, absorbiendo la energía del impacto. En cambio la defensa, es un elemento más rígido, que no permite grandes deformaciones y por tanto es mucho más dañino para el peatón tal y como se ha demostrado anteriormente en el atropello.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 CONCLUSIONES

A continuación se exponen las conclusiones más relevantes que se pueden extraer tras haber finalizado el Proyecto Fin de Carrera:

Se ha realizado una recopilación y ordenación de diferente información relacionada con los atropellos de peatones, con la cual poder tener un mayor conocimiento de este tipo de accidentes. De esta información se puede destacar que los atropellos de peatones actualmente siguen siendo un grave problema para la sociedad debido al gran número de víctimas que generan. Este tema requiere una atención especial por parte de toda la sociedad para continuar con la disminución del número de afectados cada año. Por ello es necesario realizar este tipo de estudios, con la finalidad de conocer el proceso de un atropello, qué zonas corporales del peatón atropellado sufren algún tipo de lesión y qué zonas del vehículo las causan, pudiendo posteriormente diseñar nuevos dispositivos que trabajen a favor de la seguridad del peatón en un atropello e implantarlos en los vehículos comercializados.

Se ha destacado la importancia que tiene en la actualidad la utilización de la informática como herramienta de trabajo en la industria, en general y también en la simulación de los ensayos de atropello. Se han descrito alguno de los programas de simulación más empleados en las pruebas de atropello haciéndolo con mayor detalle en el caso de los programas Solid Edge y ANSYS LS-DYNA, por ser los más utilizados en el presente Proyecto.

Para conocer el daño real que sufriría el peatón atropellado sería necesario un proceso mucho más complejo que el llevado a cabo con estas simulaciones, en el que sería necesario un previo y completo procedimiento de validación de las simulaciones a través de pruebas de laboratorio con sistemas reales, células de carga, acelerómetros y otros sensores, con los cuales poder conocer el grado de similitud entre las simulaciones realizadas y los casos reales.

Respecto a las gráficas obtenidas se ha apreciado que existen irregularidades a lo largo de las curvas provocando que todas ellas no sean uniformes. Esto es ocasionado por el tipo y tamaño del mallado que se ha utilizado en cada una de las partes del sistema. Por motivos de coste computacional, se tuvo que simplificar el mallado, aumentando el tamaño de la malla, obteniendo cuerpos más difusos y más lejanos a la realidad. Ejemplo de ello pueden ser los muslos cuyas secciones son circulares pero al crear el mallado sus secciones se han convertido en poligonales y todas ellas diferentes.

El tiempo en el que se finalizaron las cuatro simulaciones, 0'005s, debido al inmenso procesamiento de cálculos internos, es extremadamente pequeño como para obtener conclusiones finales sobre los daños provocados en un peatón y el nivel de agresividad que genera un vehículo todoterreno, con y sin defensa, en cada una de las zonas corporales de la persona atropellada. Aún así ha bastado para adentrarse en este tema y conocer de una manera más cercana los lugares más afectados, tanto del dummy como del vehículo, y su comportamiento frente a las tres variables estudiadas, tensión, aceleración lineal y desplazamiento.

Para paliar el problema del coste computacional, en siguientes estudios lo más recomendable es realizar más simplificaciones en aquellos aspectos que no sean necesarios para el estudio de los daños sufridos en las extremidades inferiores de un peatón. Se podrían adoptar las siguientes simplificaciones:

- ❖ Reducir la geometría del vehículo, dejando tan sólo la parte delantera, pues los lugares que interaccionan con el dummy en la primera fase de un atropello son únicamente el frontal y la defensa.
- ❖ Si lo que se quiere estudiar son las lesiones sufridas en las extremidades inferiores de un peatón tras ser atropellado podría obviarse la pelvis, liberando carga de procesamiento de datos internos.
- ❖ Otra solución más radical podría ser realizar el estudio de la mitad longitudinal del sistema, pues se está frente a un caso puramente simétrico. Únicamente habría que introducir las restricciones pertinentes a los nodos para que en los cálculos se tenga constancia de dicha simetría.

LS-DYNA es un programa de simulación muy completo. Gracias a él se puede obtener entre otras cosas el estado tensional del sistema simulado, en este caso, del vehículo, dummy e impactador que con otros programas de simulación no se puede. Aún así, presenta un gran inconveniente, el elevado coste computacional que requiere. Es por ello que si se quiere realizar un estudio aproximado con otro fin como un análisis sobre la cinemática del atropello existe una variedad de softwares como pueden ser PAM-CRASH, PC-CRASH, MADYMO...que son perfectamente válidos y no requieren tanto coste computacional.

Uno de los principales objetivos que se iba a abordar durante el estudio de este Proyecto Fin de Carrera era conocer la influencia de la defensa en un vehículo todoterreno en un atropello frontal para poder determinar el tipo de lesiones y el lugar donde más probablemente el peatón las sufra. Después de haber analizado los datos obtenidos de las cuatro simulaciones llevadas a cabo se puede concluir de manera definitiva que:

- ❖ En primer lugar, los valores de las magnitudes a estudiar, tensión, aceleración y desplazamiento, son muy bajos debido al poco tiempo que se ha simulado por los motivos explicados anteriormente.
- ❖ Cuando el vehículo incluye en su frontal una defensa, la zona corporal más afectada es el primer tercio del muslo pudiendo causar lesiones de la índole

de fractura del fémur, aplastamiento de la pelvis al golpear el fémur tras su desplazamiento...

- ❖ Cuando el vehículo no lleva anclada la defensa, la zona más afectada es el tercio inferior del muslo y zona rotuliana. Pudiendo producirse daños más diversos al tratarse de una zona menos rígida que la anterior. Las lesiones más frecuentes son roturas óseas pero también de ligamentos, esguinces, dislocación de la rodilla...
- ❖ Independientemente de la zona afectada, los valores de tensión y aceleración obtenidos indican una clara tendencia a producir lesiones más graves cuando el vehículo monta una defensa que cuando el coche no lleva ningún extra en el frontal.
- ❖ Respecto al vehículo se puede afirmar que la defensa actúa como sólido rígido siendo más agresiva durante el atropello ya que no es capaz de absorber energía del impacto y focalizando toda ella en una pequeña área del muslo. En cambio el frontal del vehículo se comporta como una estructura deformable por lo que es capaz de absorber energía del impacto y no ser tan dañino para el peatón.

Comparando los datos obtenidos a través de las simulaciones en el que participaba el dummy con las que participaba el impactador son diferentes. En el caso del impactador se han obtenido valores mucho más elevados que los relativos al dummy. Aún así, las conclusiones extraídas de ambos sistemas son similares.

A la vista de las conclusiones obtenidas es necesario tomar conciencia de que en un atropello el peatón es el más indefenso y es necesario crear dispositivos en los vehículos capaces de salvaguardar la vida de la persona alcanzada. Además de diseñar nuevos dispositivos, es necesario crear los elementos que componen la estructura exterior del vehículo de tal forma que sean más indefensos y no dañen tanto al peatón. Entre estos elementos se encuentra de manera destacable la defensa que cumple con la función de evitar que un impacto llegue a afectar al vehículo en sí pero repercute de manera bastante negativa en las lesiones causadas a una persona atropellada.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

A partir de la realización de este Proyecto Fin de Carrera han surgido algunas ideas que pueden dar lugar a futuros trabajos:

BASÁNDOSE EN EL ESTUDIO REALIZADO:

- ❖ Continuar con las mismas simulaciones completando el tiempo necesario para que transcurra el atropello completo.

- ❖ Realizar las simulaciones con el dummy completo para conocer la tipología del atropello y las posibles lesiones que pueden aparecer en cada una de las partes del dummy al colisionar con el vehículo.

- ❖ Utilizar las simulaciones ya realizadas cambiando distintos parámetros con el objetivo de conocer la influencia de cada uno de ellos en la gravedad de las lesiones. Estos parámetros pueden ser:

- Velocidad del vehículo.
- Materiales del vehículo.
- Aceleración del vehículo.
- Compleción del dummy (altura y peso): niño, adulto, anciano, embarazada.
- Materiales del dummy.

- ❖ Simular otros atropellos con posiciones relativas diferentes entre el vehículo y el dummy.

OTROS ESTUDIOS:

- ❖ Continuar con las simulaciones implantando nuevos sistemas de seguridad diseñados para la protección del peatón en caso de atropello.

- Sistema pop-up.
- Airbags exteriores.

- ❖ Realizar simulaciones de atropello a un ciclista o motorista para estudiar la tipología característica de este tipo de casos y los daños causados.

- ❖ Realizar un estudio minucioso sobre las lesiones provocadas en la cabeza del peatón durante el proceso de un atropello al tratarse de una de las partes más frágiles, delicadas y con mayor importancia vital.

- ❖ Realizar simulaciones de atropellos con diferentes tipos de vehículos con el objetivo de conocer la influencia de la geometría del vehículo en los daños causados al peatón, así como la tipología que define el atropello

- ❖ Investigación de nuevos sistemas de seguridad hacia los peatones para reducir la agresividad entre el vehículo y la persona atropellada.



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. *Advanced Crash Dummy Research for Injury Assessment in Frontal Test Conditions* (ADRIA). TNO Crash Safety Research Centre (TNO). PL96-1074. (2000)
- [2]. Aertia Software. www.aertia.com. (Última consulta: marzo 2009)
- [3]. APPA: *Improving the protection of pedestrian when impacted by cars*
- [4]. Assessment Protocol and Biomechanical Limits, vesion 4.2. European New Car Programme (EuroNCAP) (2008)
- [5]. Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM). www.aaam.org (última consulta: marzo 2009)
- [6]. Autoliv, Inc. www.autoliv.com (Última consulta: agosto 2009)
- [7]. Terra. *El ADAC Cuestiona los Test EuroNCAP*. <http://motor.terra.es/ultimas-noticias-actualidad/articulo/adac-euroncap-cuestiona-tests-43542.htm> (Última consulta: abril 2009)
- [8]. Terra. *EuroNCAP: Sin ESP no habrá cinco estrellas*. <http://motor.terra.es/ultimas-noticias-actualidad/articulo/euroncap-esp-no-habra-estrellas-45206.htm> (Última consulta: abril 2009)
- [9]. Barrios, José Manuel: *El accidente de tráfico. Definición de medidas para la mejora de la seguridad vial*. Departamento de Seguridad de Applus+ADIADA. España.
- [10]. Blog deautos. *Se probó en España el nuevo sistema "antiatropello"*. http://blog.deautos.com/2008_08_01_archive.html (Última consulta: agosto 2009)
- [11]. Campón Domínguez, José Andrés; San Román García, José Luis; Díaz López, Vicente; Sanz Sánchez, Susana: *La Reconstrucción de Accidentes: El atropello de Peatones* (1ª Parte). Comisión territorial de Madrid de STA, España.
- [12]. Caprile Stucchi, Mario: *El automóvil: Seguridad, energía y medio ambiente*. Pág. 79, anexo VII. (1975)
- [13]. Centro de Experimentación y Seguridad Vial MAPFRE: *Manual de carrocería de automóviles: reparación*. (2003)
- [14]. Centro nacional de venta y distribución de artículos para todo terreno. SER4x4. www.ser4x4.net (Última consulta: diciembre 2009)

- [15]. Cesari, D. et al. *Optimization of pedestrian leg injury protection using a biofidelic human leg*. Proceedings of the International conference on the Biomechanics of Impacts (IRCOBI), Lyon, (1994)
- [16]. Cesari, D.; Cavallero, C.: Pedestrian leg injuries-mechanisms and tolerance. INRETS Report LCB 93009 bis (1994).
- [17]. Ciudad.com. <http://www.ciudad.com.ar/2008/09/15/tecnonews/01760881.html> (Última consulta: enero 2009)
- [18]. Condes Novillo, Jaime: Ensayos de Atropello de Peatones. Descripción y Simulación. (2009)
- [19]. Crash Test 2006 Results. Australasian New Car Assessment Program (ANCAP)
- [20]. Crash Test Dummy. http://en.wikipedia.org/wiki/Crash_test_dummy. (Última consulta: abril 2009)
- [21]. Denton ATD, Inc www.dentonatd.com (Última consulta: abril 2009)
- [22]. DGT. Anuario Accidentes 2007 – estadísticas. http://www.dgt.es/portal/seguridad_vial/estadistica/accidentes_30dias (Última consulta: agosto 2009)
- [23]. DGT. <http://www.dgt.es/revista/num148/pages/seguridadvial.html> (Última consulta: abril 2009)
- [24]. Diario la voz de Galicia (20/11/2008). España (2008)
- [25]. Días, J. Seguridad Vial. *Atropello a peatones – Frágiles en el tránsito*. Págs.: 20-24.
- [26]. Dirección General de Tráfico (DGT) www.dgt.es. (Última consulta: octubre 2009)
- [27]. Directiva Europea 2003/102/CE (2003) “*Relativa a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública antes y en caso de colisión con un vehículo de motor y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo*”
- [28]. Directiva Europea 1999/98/CE (1999) “*Relativa a la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión frontal*”
- [29]. Directiva Europea 2005/66/CE (2005) “*Relativa al uso de sistemas de protección delantera en vehículos de motor y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo*”
- [30]. Directiva Europea 2007/46/CE (2007) “*Por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos*”
-

- [31]. Directiva Europea 96/27/CE (1996) “*Sobre la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión lateral y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE*”
- [32]. Directiva Europea 96/79/CE (1996) “*Relativa a la protección de los ocupantes de los vehículos de motor en caso de colisión frontal y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE*”
- [33]. Dr. Steffan Datentechnik (DSD. www.dsd.at. (Última consulta: 2009)
- [34]. Dr.-Ing. Christian Genres; Prof.Dr.rer.nat. Volker Schindler. ATZ Autotechnogy. *Development of a New-Born Child Dummy*, 09/Sept 2008, volumen 8, páginas: 26-30.
- [35]. Dr.Werner Bieck, Herbert Honfinger, .Thierry Mousel. ATZ Autotechnogy. *Sensor Application for Improved Pedestrian Protection*. 09/Sept 2008, volumen 8, páginas: 44-48.
- [36]. DYNAmore GmbH. www.dynamore.de. (Última consulta: marzo 2009)
- [37]. Ecologistas en Acción. *Atropellos, los culpables son los coches*. <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article10364> (Última consulta: agosto 2009)
- [38]. El *Habitáculo de Seguridad*. Instituto de Investigación sobre Reparación de Vehículos – Centro Zaragoza. (2000)
- [39]. ESI Group. www.esi-group.com. (Última consulta: marzo 2009)
- [40]. EuroNCAP: <http://es.wikipedia.org/wiki/EuroNCAP> (Última consulta: abril 2009)
- [41]. European Enhanced Vehicle – Safety Committee (EEVC). www.eevc.org. (Última consulta: mayo 2009)
- [42]. European New Car Assessment Programme (EuroNCAP) www.euroncap.com (Última consulta: abril 2009)
- [43]. Fernández Muñoz, J. Juan. COIIM: *Reproducción de un atropello real mediante modelos matemáticos*. Enero-Febrero. Páginas: 50-53. (2005)
- [44]. Ficha 5.5: Intersecciones y Pasos de Peatones. Instrucción de Vía Pública. Ayuntamiento de Madrid. España (2000)
- [45]. Fiera de la Ingeniería. <http://www.fierasdelaingenieria.com/dummies-virtuales-avanzados/> (Última consulta: abril 2009)
-

- [46]. First Technology Safety System (FTSS). www.ftss.com (Última consulta: marzo 2009)
- [47]. Francisco J. Alfonso Peña: *Capós de nueva tecnología*. CESVIMAP 57 Septiembre 2006.
- [48]. Fundación Instituto Tecnológico para la seguridad del Automóvil, FITSA. *Tecnologías vehiculares para la mejora de protección de peatones y ciclistas*. Volumen 12. (2007)
- [49]. General Motors www.gm.com (Última consulta: abril 2009)
- [50]. GESAC, Inc www.gesacinc.com (Última consulta: abril 2009)
- [51]. Granda, E. EL PAÍS. *El 40% de los conductores muertos en accidente iba drogado o borracho* 06/07/2009 www.elpais.com (Última consulta: agosto 2009)
- [52]. Haight, W. and Eubanks, J.: *Trajectory analysis for collisions involving bicycles and automobiles*. In society of automotive engineers Conference, SAE Paper Np. 900368, 1990.
- [53]. History of Anthropomorphic Test Devices. Denton ATD, Inc. EEUU
- [54]. *Honda Develops a 2nd Generation Crash Test Pedestrian Dummy With Injury-Level Measurement Capability*. Honda Motor Co., Ltd (2000)
- [55]. Honda Motor Co., Ltd. <http://world.honda.com>. (Última consulta: abril 2009)
- [56]. *How the EuroNCAP Test Are Done*. <http://crash.citroenz.biz/how-tests-r-done.html> (Última consulta: agosto 2009)
- [57]. Hoy digital. Autos. <http://www.hoy.com.do/deportes/2008/3/1/104424/Autos> (Última consulta: agosto 2009)
- [58]. *Improved Test Methods to evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars*. EEEVC Working Group 17. (2002)
- [59]. Informe Anual de Siniestralidad Vial. España 2006. Dirección General de Tráfico (DGT). Observatorio Nacional de seguridad Vial. España.
- [60]. Informe RACE. Estudio sobre velocidades en zona urbana. Real Automóvil Club de España. (RACE). España (2007)
- [61]. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). www.inta.es. (Última consulta: agosto 2009)
- [62]. International Road Traffic and Accident Database (IRTAD). www.irtad.com (Última consulta: octubre 2009)
-

- [63]. Jiménez Pérez Mitre, Alfredo. *Análisis y optimización con interacción de Dummy, de la carrocería del automóvil "Tubolare SAND CAR" de Tecnoidea SA de CV, en impacto frontal empleando el método de elementos finitos en ALGOR FEA, mediante la simulación de eventos mecánicos. Capítulo 6: Desarrollo del Dummy en Pro-Engineer. 2004*
- [64]. Karl-Heinz Dietsche: *Manual de la técnica del automóvil*. (2005)
- [65]. Keith Hall, Brian; *Bone: Bone growth*. Volumen 7 de bone. Pág. 326. (1992)
- [66]. Kelly, James R.: *BioRID-Iic Rear Impact Crash Test Dummy*. Robert A. Denton, Inc. EEUU
- [67]. King, Albert: *Beneficios para la humanidad en el campo de la prevención de daños, obtenidos mediante investigaciones con cadáveres*. Journal of Trauma (1995).
- [68]. Konosu, A; Tanahashi, M: Development of a Biofidelic Flexible Pedestrian Legform Impactador (Flex.PLI 2003)
- [69]. La seguridad vial no es accidental. Departamento de Prevención de los Traumatismos y la Violencia. Organización Mundial de la Salud. (2004)
- [70]. Las principales cifras de Siniestralidad Vial. España 2006. Dirección General de Tráfico (DGT). Observatorio Nacional de Seguridad Vial. España.
- [71]. Leung, Y.C., et al. *Study of "Knee – Thigh – Hip" Protection Criterion*. SAE. Paper nº 831629, 1983.
- [72]. Lawrence, G.J.L.; Thorton, S.T.: *Reconstructions of pedestrians accidents and their implication on the EEVC Upper Legform Test*. TRL, 1997.
- [73]. Lexus España (Toyota España S.L.U). www.mundolexus.com. (Última consulta: agosto 2009)
- [74]. Lexus. LS, *detención avanzada de obstáculos*. (Última consulta: agosto 2009)
<http://www.mundolexus.com/range/ls/key-features/safety/safety-obstacle-detection.aspx>
- [75]. Li Gotti, Diego. Revista CESVI: *Impacto de peatones, preparados para un atropello*.
- [76]. Livermore Software Technology Corp. www.lstc.com (Última consulta: marzo 2009)
- [77]. López, M. Revista: Tráfico y Seguridad Vial. *Tecnologías Antiatropellos*. Septiembre – octubre 2008. Páginas: 34-37.
- [78]. LS-Dyna: www.lsdyna-portal.com (Última consulta: diciembre 2009)

- [79]. Maniqués Casi Humanos. Revista Tráfico. (Septiembre-Octubre 1998). España. (1998)
- [80]. Martínez Ramos, Tatiana M.: Tema 89 – Temario Específico ESTT-OEP 2005. España (2004)
- [81]. Martínez Sáez, Luis. *Desarrollo de una metodología para el análisis de atropello de peatones utilizando modelos de elementos finitos del cuerpo humano*.
- [82]. Matsui, Ishikawa, H.; Sasaki, a.: *Validation of pedestrian upper legform test-Reconstruction of pedestrian accidents*. Proceedings of the 16th ESV Conference 1998.
- [83]. Matweb. www.matweb.com. (Última consulta: junio 2009)
- [84]. Maurenza Román, J. Antonio. Revista: CESVIMAP. *Opel Corsa D*. Junio, volumen 60, páginas: 24-48. (2007)
- [85]. MECATRONICA. *Nuevos sistemas de frenado* (Última consulta: agosto 2009) <http://demecatronica.blogspot.com/>
- [86]. Meneses Alonso, Jesús; Álvarez Caldas, Carolina; Rodríguez Fernández, Santiago: *Introducción al Solid Edge*. (2006)
- [87]. Mercedes – Benz: Catálogo: *La nueva generación de la Clase ML*. (2009)
- [88]. Michigan Engineering. <http://www.engin.umich.edu/class/bme456/bonefunction/bonefunction.htm> (Última consulta: junio 2009)
- [89]. Minoru Inoue, Michinari Watanabe, Hiroto Kido, Noriaki Ito, Shigeru Ogawa, Mazda. ATZ Autotechnogy. *Investigation of the Internal Energy Assessment in a Vehicle Crash Event*. December 2007, volumen 7, páginas: 60-63.
- [90]. Mizumo, Yoshiyuki: Summary of IHRA Pedestrian Safety WG Activities (2005). *Proposed Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars*. Japan Automobile Standards Internationalization Center (JASIC). Paper number 05-0138. Japan. (2005)
- [91]. Morales González, Carlos. *Elementos de ensayo, homologación y seguridad de los automóviles en atención al impacto vehículo-peatón*.
- [92]. MOTOR SPAIN. *BAS, el aliado del ABS* <http://www.motorspain.com/25-07-2007/varios/seguridad/bas-el-aliado-del-abs> (Última consulta: agosto 2009)
- [93]. Motorspain.com <http://www.motorspain.com/10-04-2008/varios/seguridad/unmuro-virtual-para-proteger-a-los-peatones> (Última consulta: febrero 2009)
- [94]. Muñoz Abella, M^a Belén: *Análisis del Comportamiento del Cuerpo Humano en Colisiones*. Universidad Carlos III de Madrid – Área de Ingeniería Mecánica. (2004)
-

- [95]. Nissan Motor Company. www.nissan-global.com (Última consulta: abril 2009)
- [96]. Orden ministerial de 18 de febrero de 1993.
- [97]. Patrick Hannon, Ep; Kerry Knapp, Ph. *Forensic Biomechanics* (2006). Páginas: 63-66.
- [98]. PC-CRASH. Operating Manual, version 8.1. Linz, Austria (2007)
- [99]. PC-CRASH. *Technical Manual*, version 6.2. Linz, Austria (2001)
- [100]. Pedestrian Testing Protocol, Version 4.2. European New Car Assessment Programme (EuroNCAP). (2008)
- [101]. Por Francisco J. Alfonso Peña. *Revista CESVIMAP. Capós de nueva tecnología*. Septiembre 2006. Volumen 57, páginas: 12-15.
- [102]. Prescripciones Técnicas de la Directiva Europea 2003/102/CE. (2004/90/CE) (2003)
- [103]. Propuesta de REGLAMENTO DE PARLAMENTO EUROPEA Y DEL CONSEJO relativo a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía pública. 2007/0201 (COD). (2007)
- [104]. RACC: *Estudio sobre pasos de peatones en Europa*. Enero 2008
- [105]. Ramet, M.; Bouquet, R.; Bermond, F.; Caire, Y.: *Shearing and bending human knee joint test in quasi-static lateral load*. Proceeding of the International conference on the Biomechanics of impact (IRCOBI), Brunnen, Switherland (1995).
- [106]. Rasico, Jim; van Ratiguen, Michel; Kulwichi, Mike: *Overview of Standars and Potential for New Regulation*. First Technology Safety System, Inc (FTSS). (2007)
- [107]. Real Academia Española (RAE). www.rae.es (Última consulta: agosto 2009)
- [108]. Real Decreto Legislativo 339/1990
- [109]. *Revista del Automovil y el turismo AUTOCEA* (Noviembre 2006). Págs. 14-15. España (2006)
- [110]. Rodmell, C.; Lawrence, G.J.L.: *Further pedestrian accident reconstructions with the Upper Legform Impactor*. TRL, 1998.
- [111]. Ruiz de Peralta Valero, Gracia: Tema 37 – Temario Específico ESTT-OEP 2005. España (2004)

- [112]. San Román García, José Luis; Campón Domínguez, José Andrés; Díaz López, Vicente; Sanz Sánchez, Susana: *La Reconstrucción de Accidentes: El atropello de Peatones* (3ª parte). Comisión territorial de Madrid STA. España.
- [113]. Schreiber, P.: et al. *Static and dynamic bending strength of the leg*. Proceedings of the IRCOBI conference (1997).
- [114]. Seguridad Vial 2004 / Road Safety 2004. Dirección General de Tráfico (DGT). España.
- [115]. Seguridad Vial. http://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_vial (Última consulta: agosto 2009)
- [116]. Seike University Graduate School and others. ATZ Autotechnogy. *Impact Injury Analysis of the Human Head*. December 2007, volumen 7, páginas: 34-37.
- [117]. Series Estadísticas sobre Accidentes y Víctimas I. Dirección General de Tráfico (DGT). España. (2007)
- [118]. TASS-TNO Automotive Safety Solutions. www.tass-safe.com (Última consulta: marzo 2009)
- [119]. TERRA. *Llega la ley armonizadora de badenes* 31/10/2008 <http://motor.terra.es/ultimas-noticias-actualidad/articulo/llega-ley-armonizadora-badenes-45006.htm> (Última consulta: agosto 2009)
- [120]. TOYOTA <http://www.safetytoyota.com/es-es.html> (Última consulta: abril 2009)
- [121]. TOYOTA, *El Pasajero Virtual*, en *Vive TOYOTA 360º*, N° 11 Primavera 09. 2009
- [122]. Transport Research Laboratory (TRL). www.trl.co.uk (última consulta: marzo 2009)
- [123]. VTISL. www.vtisl.com (Última consulta: mayo 2009)
- [124]. Y. Nakasone, T. A. Stolarski, S. Yoshimoto: *Engineering analysis with ANSYS software*. (2006)
- [125]. Yang, Jikuang: *Review of Injury Biomechanics in car-pedestrian collisions*. Crash Safety Division Machine and Vehicle System. SE-412 96. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. (2002)

8 ANEXO I

Estadísticas

En este anexo se pueden encontrar todas las estadísticas relacionadas con los accidentes de tráfico que se han utilizado y de las cuales se han extraído los datos mostrados en apartados anteriores.

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

APARTADO A)

TIPO DE ACCIDENTE	TOTAL GENERAL						CARRETERA						ZONA URBANA					
	Accidentes con víctimas			Víctimas			Accidentes con víctimas			Víctimas			Accidentes con víctimas			Víctimas		
	Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves		Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves		Total	Mortales	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	
COLISIÓN DE VEHÍCULOS EN MARCHA	55.895	1.170	1.579	8.947	77.190		24.200	1.001	1.338	6.103	36.466		31.695	169	241	2.844	40.724	
COLISIÓN VEHÍCULO-OBSTÁCULO EN CALZADA	2.955	57	78	482	3.324		1.042	33	43	225	1.191		1.913	24	35	257	2.133	
ATROPELLO DE PERSONAS	9.821	433	548	2.141	8.734		1.239	228	262	494	697		8.582	205	286	1.647	8.037	
Peatón sosteniendo bicicleta	91	7	7	15	77		36	7	7	11	23		55	0	0	4	54	
Peatón reparando vehículo	43	7	7	26	33		25	6	6	19	22		18	1	1	7	11	
Peatón aislado o grupo	9.680	418	533	2.097	8.617		1.177	214	248	464	651		8.503	204	285	1.633	7.966	
Conductor de animales	7	1	1	3	7		1	1	1	0	1		6	0	0	3	6	
ATROPELLO DE ANIMALES	385	7	8	65	428		352	6	7	60	395		33	1	1	5	33	
VUELCO EN LA CALZADA	3.059	73	86	543	3.023		1.661	56	64	353	1.633		1.398	17	22	190	1.390	
SALIDA DE CALZADA (IZDA.)	7.323	365	458	2.225	7.954		6.689	337	425	2.040	7.304		634	28	33	185	650	
SALIDA DE CALZADA (DCHA.)	14.645	571	692	3.222	16.069		12.452	522	638	2.932	13.703		2.193	49	54	290	2.366	
OTRO TIPO DE ACCIDENTE	6.425	281	374	1.670	6.504		2.185	232	305	994	2.198		4.240	49	69	676	4.306	
TOTAL	54.434	2.220	2.792	12.489	54.770		26.859	1.642	2.006	7.592	27.818		27.575	578	786	4.897	26.952	

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Víctimas de los accidentes según edades y sexo, en carretera. Año 2007

AÑOS DE EDAD	Sexo	TOTALES			PEATONES		
		Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
De 0 a 1	Hombre	6	15	156	0	1	2
	Mujer	3	9	136	1	1	2
	Desconocido	0	0	4	0	0	0
Total		9	24	296	1	2	4
De 2 a 5	Hombre	6	38	280	0	4	9
	Mujer	7	24	266	0	2	9
	Desconocido	0	0	9	0	0	0
Total		13	62	555	0	6	18
De 6 a 9	Hombre	10	45	302	3	8	16
	Mujer	11	32	265	1	6	11
	Desconocido	0	0	5	0	0	0
Total		21	77	572	4	14	27
De 10 a 14	Hombre	17	99	524	1	8	23
	Mujer	11	59	472	0	11	14
	Desconocido	0	1	3	0	0	0
Total		28	159	999	1	19	37
De 15 a 17	Hombre	69	468	1.297	2	4	16
	Mujer	20	135	708	2	2	7
	Desconocido	0	0	6	0	0	0
Total		89	603	2.011	4	6	23
De 18 a 20	Hombre	151	724	3.066	2	12	17
	Mujer	36	222	1.558	2	2	9
	Desconocido	0	0	8	0	0	0
Total		187	946	4.632	4	14	26
De 21 a 24	Hombre	209	1.068	4.367	9	31	25
	Mujer	46	360	2.420	2	7	11
	Desconocido	1	2	11	0	0	0
Total		256	1.430	6.798	11	38	36
De 25 a 29	Hombre	331	1.455	5.930	18	24	33
	Mujer	76	415	3.169	4	5	13
	Desconocido	0	2	12	0	0	0
Total		407	1.872	9.111	22	29	46
De 30 a 34	Hombre	312	1.274	4.994	18	28	39
	Mujer	42	322	2.582	3	13	15
	Desconocido	1	3	9	0	0	0
Total		355	1.599	7.585	21	41	54
De 35 a 39	Hombre	267	1.044	3.931	21	37	34
	Mujer	49	239	1.867	7	9	16
	Desconocido	0	2	4	0	0	0
Total		316	1.285	5.802	28	46	50
De 40 a 44	Hombre	209	810	3.000	21	27	36
	Mujer	43	232	1.510	8	6	13
	Desconocido	0	1	5	0	0	0
Total		252	1.043	4.515	29	33	49
De 45 a 49	Hombre	194	675	2.423	19	22	25
	Mujer	36	224	1.300	2	8	9
	Desconocido	0	2	4	0	0	0
Total		230	901	3.727	21	30	34
De 50 a 54	Hombre	136	485	1.885	9	5	19
	Mujer	36	184	1.101	4	8	13
	Desconocido	1	0	4	1	0	0
Total		173	669	2.990	14	13	32
De 55 a 59	Hombre	135	430	1.490	11	21	20
	Mujer	28	182	902	2	16	16
	Desconocido	0	2	2	0	0	0
Total		163	614	2.394	13	37	36
De 60 a 64	Hombre	108	320	1.104	11	15	24
	Mujer	34	158	684	4	15	16
	Desconocido	1	1	3	0	0	0
Total		143	479	1.791	15	30	40
De 65 a 69	Hombre	78	240	806	9	22	16
	Mujer	23	105	513	4	7	17
	Desconocido	0	1	0	0	0	0
Total		101	346	1.319	13	29	33
De 70 a 74	Hombre	87	222	720	15	25	23
	Mujer	34	109	467	9	20	14
	Desconocido	0	1	0	0	0	0
Total		121	332	1.187	24	45	37
Más de 74	Hombre	125	298	983	33	52	37
	Mujer	75	129	488	23	31	29
	Desconocido	0	0	2	0	0	1
Total		200	427	1.473	56	83	67
No especificada	Hombre	14	216	2.997	5	11	34
	Mujer	3	94	2.571	1	2	12
	Desconocido	1	23	262	0	1	12
Total		18	333	5.830	6	14	58
Total	Hombre	2.464	9.926	40.255	207	357	448
	Mujer	613	3.234	22.979	79	171	246
	Desconocido	5	41	353	1	1	13
Total		3.082	13.201	63.587	287	529	707

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Víctimas de los accidentes según edades y sexo, en zona urbana. Año 2007

AÑOS DE EDAD	Sexo	TOTALES			PEATONES		
		Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Muertos	Heridos graves	Heridos leves
De 0 a 1	Hombre	0	0	51	0	0	13
	Mujer	3	5	56	2	2	16
	Desconocido	0	0	1	0	0	1
Total		3	5	108	2	2	30
De 2 a 5	Hombre	6	23	317	6	20	179
	Mujer	4	27	239	3	26	113
	Desconocido	0	1	2	0	0	2
Total		10	51	558	9	46	294
De 6 a 9	Hombre	1	56	393	1	41	216
	Mujer	4	16	326	4	11	127
	Desconocido	0	1	5	0	1	4
Total		5	73	724	5	53	347
De 10 a 14	Hombre	15	100	626	7	45	197
	Mujer	4	52	428	4	35	177
	Desconocido	0	2	12	0	1	5
Total		19	154	1.066	11	81	379
De 15 a 17	Hombre	36	352	2.699	2	22	110
	Mujer	11	110	1.054	0	25	131
	Desconocido	0	3	16	0	0	0
Total		47	465	3.769	2	47	241
De 18 a 20	Hombre	29	411	3.922	3	28	109
	Mujer	11	127	1.850	0	22	148
	Desconocido	2	1	14	0	0	2
Total		42	539	5.786	3	50	259
De 21 a 24	Hombre	53	393	4.255	5	26	149
	Mujer	16	166	2.456	3	32	199
	Desconocido	0	5	19	0	1	2
Total		69	564	6.730	8	59	350
De 25 a 29	Hombre	59	501	5.228	8	46	231
	Mujer	17	166	3.015	5	34	264
	Desconocido	0	1	18	0	0	2
Total		76	668	8.261	13	80	497
De 30 a 34	Hombre	47	442	4.446	6	51	249
	Mujer	12	150	2.519	4	43	238
	Desconocido	0	1	13	0	0	2
Total		59	593	6.978	10	94	489
De 35 a 39	Hombre	32	394	3.428	1	46	214
	Mujer	5	104	1.772	5	38	221
	Desconocido	0	0	14	0	0	2
Total		37	498	5.214	6	84	437
De 40 a 44	Hombre	35	308	2.581	3	50	150
	Mujer	6	74	1.448	5	34	219
	Desconocido	0	0	19	0	0	1
Total		41	382	4.048	8	84	370
De 45 a 49	Hombre	32	237	1.939	10	47	157
	Mujer	5	81	1.206	3	44	233
	Desconocido	0	1	9	0	0	2
Total		37	319	3.154	13	91	392
De 50 a 54	Hombre	25	171	1.461	9	37	152
	Mujer	7	75	1.001	5	42	251
	Desconocido	0	2	11	0	1	3
Total		32	248	2.473	14	80	406
De 55 a 59	Hombre	22	139	1.088	9	41	167
	Mujer	7	76	798	5	46	248
	Desconocido	0	1	5	0	1	3
Total		29	216	1.891	14	88	418
De 60 a 64	Hombre	20	85	776	11	28	162
	Mujer	11	72	612	10	53	211
	Desconocido	1	0	5	1	0	1
Total		32	157	1.393	22	81	374
De 65 a 69	Hombre	7	64	484	3	36	148
	Mujer	9	59	438	7	47	176
	Desconocido	0	0	4	0	0	2
Total		16	123	926	10	83	326
De 70 a 74	Hombre	25	84	411	18	63	159
	Mujer	22	97	488	21	83	260
	Desconocido	0	0	2	0	0	1
Total		47	181	901	39	146	420
Más de 74	Hombre	59	211	783	48	169	455
	Mujer	58	264	896	55	233	561
	Desconocido	0	2	3	0	1	1
Total		117	477	1.682	103	403	1.017
No especificada	Hombre	9	186	1.806	2	43	256
	Mujer	4	93	1.294	2	43	245
	Desconocido	10	102	877	8	45	272
Total		23	381	3.977	12	131	773
Total	Hombre	512	4.157	36.694	152	839	3.473
	Mujer	216	1.814	21.896	143	893	4.038
	Desconocido	13	123	1.049	9	51	308
Total		741	6.094	59.639	304	1.783	7.819

APARTADO B)

Luminosidad y factores atmosféricos en relación con la tipología de los accidentes, en carretera. Año 2007

LUMINOSIDAD Y FACTORES ATMOSFÉRICOS	EN LOS ACCIDENTES CON VÍCTIMAS				EN LOS ACCIDENTES MORTALES													
	TOTAL DE ACCIDENTES	TOTAL DE VÍCTIMAS	COLISION VEHICULO CON								TOTAL DE ACCIDENTES	COLISION VEHICULO CON						
			Uno o más vehículos	Obstáculo en la calzada	Atropello de peatones	Atropello de animales	Vuelco en calzada	Salida de calzada	Otro tipo de accidente	Uno o más vehículos		Obstáculo en la calzada	Atropello de peatones	Atropello de animales	Vuelco en calzada	Salida de calzada	Otro tipo de accidente	
Luminosidad																		
En pleno día	33.555	53.203	17.721	611	674	88	1.262	11.656	1.543	1.412	668	18	72	1	46	462	145	
Crepúsculo	2.571	4.185	1.260	67	66	22	64	984	108	134	55	1	14	1	2	41	20	
Noche, vía suficientemente iluminada	3.153	5.063	1.583	122	142	8	86	1.075	137	118	37	3	21	0	1	51	5	
Noche, vía insuficientemente iluminada	3.169	5.028	1.289	78	142	57	73	1.413	117	179	64	4	28	0	0	70	13	
Noche, vía no iluminada	7.372	12.391	2.347	164	215	177	176	4.013	280	572	177	7	93	4	7	235	49	
NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES	49.820	79.870	24.200	1.042	1.239	352	1.661	19.141	2.185	2.415	1.001	33	228	6	56	859	232	
Factores atmosféricos																		
Buen tiempo	42.615	68.046	21.113	825	1.105	317	1.477	15.929	1.849	2.009	799	27	193	5	49	734	202	
Niebla intensa	294	532	126	4	4	7	8	132	13	33	14	1	1	0	0	15	2	
Niebla ligera	304	489	107	6	7	3	6	168	7	28	12	0	4	0	0	11	1	
Lloviznando	3.946	6.449	1.747	110	74	14	75	1.777	149	193	107	2	15	0	3	49	17	
Lluvia fuerte	1.098	1.826	451	25	15	4	24	540	39	52	28	1	3	0	0	17	3	
Granizando	116	243	56	5	1	0	3	46	5	6	3	0	1	0	0	2	0	
Nevando	128	193	53	4	0	0	1	63	7	4	4	0	0	0	0	0	0	
Viento fuerte	336	529	139	14	4	2	31	123	23	22	7	0	1	0	4	8	2	
Otros	983	1.563	408	49	29	5	36	363	93	68	27	2	10	1	0	23	5	
NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES	49.820	79.870	24.200	1.042	1.239	352	1.661	19.141	2.185	2.415	1.001	33	228	6	56	859	232	

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Luminosidad y factores atmosféricos en relación con la tipología de los accidentes, en zona urbana. Año 2007																	
LUMINOSIDAD Y FACTORES ATMOSFÉRICOS	EN LOS ACCIDENTES CON VÍCTIMAS					EN LOS ACCIDENTES MORTALES											
	TOTAL DE ACCIDENTES	TOTAL DE VÍCTIMAS	COLISION VEHICULO CON					TOTAL DE ACCIDENTES	COLISION VEHICULO CON								
			Uno o más vehículos	Obstáculo en la calzada	Atropello de peatones	Atropello de animales	Vuelco en calzada		Salida de calzada	Otro tipo de accidente	Uno o más vehículos	Obstáculo en la calzada	Atropello de peatones	Atropello de animales	Vuelco en calzada	Salida de calzada	Otro tipo de accidente
Luminosidad																	
En pleno día	34.635	44.263	21.940	917	6.202	18	939	1.638	2.981	304	98	9	128	1	7	35	26
Crepúsculo	2.229	2.911	1.265	118	413	0	74	115	244	29	9	1	11	0	0	4	4
Noche, vía suficientemente iluminada	12.922	18.027	8.126	804	1.832	9	338	904	909	168	55	13	49	0	7	27	17
Noche, vía insuficientemente iluminada	691	958	297	55	108	4	36	109	82	21	5	0	8	0	1	5	2
Noche, vía no iluminada	211	315	67	19	27	2	11	61	24	20	2	1	9	0	2	6	0
NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES	50.688	66.474	31.695	1.913	8.582	33	1.398	2.827	4.240	542	169	24	205	1	17	77	49
Factores atmosféricos																	
Buen tiempo	44.070	58.046	28.449	1.662	7.556	31	1.070	2.471	2.831	490	160	23	177	1	15	69	45
Niebla intensa	29	40	11	0	5	0	3	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Niebla ligera	87	115	41	8	16	0	3	9	10	1	0	0	0	0	0	1	0
Lloviznando	2.535	3.304	1.375	154	423	1	100	183	299	22	3	0	12	0	1	3	3
Lluvia fuerte	242	329	115	8	55	0	10	32	22	1	1	0	0	0	0	0	0
Granizando	13	19	8	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Nevando	17	29	7	0	4	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Viento fuerte	123	167	66	4	18	1	8	9	17	3	0	0	1	0	0	1	1
Otros	3.572	4.425	1.623	77	502	0	204	111	1.055	25	5	1	15	0	1	3	0
NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES	50.688	66.474	31.695	1.913	8.582	33	1.398	2.827	4.240	542	169	24	205	1	17	77	49

APARTADO C)

Estado y tipo de los vehículos implicados en los accidentes con víctimas, en carretera. Año 2007

ESTADO DEL VEHÍCULO	Total	Desconocido	VEHÍCULOS 2-3 RUEDAS				VEHÍCULOS LIGEROS				VEHÍCULOS PESADOS				Otros vehículos
			Bicicletas	Ciclomotores	Motos	Turismos	Tractores agrícolas	Maq. Obras y agríc.	Furgonetas	Camión -3,500 Kg	Camión +3,500 Kg	Vehículos articulados	Autobuses		
Aparentemente ningún defecto	83,091	180	1,013	3,596	6,094	56,549	349	113	6,372	1,868	3,556	1,578	403	1,420	
Neumáticos muy desgastados	140	1	1	9	10	91	0	0	10	3	12	1	0	2	
Pinchazo o reventón	64	0	2	0	5	25	0	1	15	3	7	3	0	3	
Pérdida de rueda	4	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	
Luces delanteras deficientes	10	0	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Luces traseras deficientes	8	0	2	2	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	
Frenos deficientes	16	0	0	5	0	6	0	0	0	3	1	0	0	1	
Dirección rota o defectuosa	5	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	
Sobrecargado	5	0	0	0	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0	
Carga mal acondicionada	7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	2	0	2	
Otros defectos	261	3	8	14	26	131	2	2	19	13	30	7	0	6	
Se ignora	2,572	193	65	159	374	1,420	8	3	150	35	72	46	14	33	
TOTAL	86,183	377	1,092	3,795	6,509	58,229	364	119	6,569	1,926	3,680	1,639	417	1,467	

Estado y tipo de los vehículos implicados en los accidentes con víctimas, en zona urbana

ESTADO DEL VEHÍCULO	Total	Desconocido	VEHÍCULOS 2-3 RUEDAS				VEHÍCULOS LIGEROS				VEHÍCULOS PESADOS				Otros vehículos
			Bicicletas	Ciclomotores	Motos	Turismos	Tractores agrícolas	Maq. Obras y agric.	Furgonetas	Camión -3.500 Kg	Camión +3.500 Kg	Vehículos articulados	Autobuses		
Aparentemente ningún defecto	69.067	88	1.424	11.901	9.221	40.364	38	74	3.111	935	309	119	1.104	379	
Neumáticos muy desgastados	40	0	0	12	7	19	0	0	1	0	1	0	0	0	
Pinchazo o reventón	6	0	0	1	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	
Pérdida de rueda	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Luces delanteras deficientes	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Luces traseras deficientes	4	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Frenos deficientes	37	2	4	15	2	6	0	0	1	3	0	0	4	0	
Dirección rota o defectuosa	15	0	0	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sobrecargado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Carga mal acondicionada	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Otros defectos	878	2	34	96	101	544	1	3	52	11	5	1	19	9	
Se ignora	21.048	51	269	1.865	3.201	13.228	2	6	1.231	447	21	8	447	272	
TOTAL	91.100	143	1.733	13.900	12.539	54.170	41	83	4.396	1.397	336	128	1.574	660	

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Antigüedad de los vehículos implicados en accidentes con víctimas y defectos del vehículo, en carretera. Año 2007

ESTADO DEL VEHÍCULO	AÑOS TRANSCURRIDOS DESDE SU MATRICULACIÓN											
	-1	1	2	3	4	5	6 y 7	8 a 10	11 a 15	Más de 15	Sin especificar	Total
Aparentemente ningún defecto	4.461	7.545	6.433	5.617	4.715	4.280	9.017	10.318	8.302	4.664	17.739	83.091
Neumáticos muy desgastados	2	7	12	9	9	8	26	20	26	14	7	140
Pinchazo o reventón	3	2	4	5	4	1	9	12	12	6	6	64
Pérdida de rueda	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4
Luces delanteras deficientes	0	1	1	0	1	2	4	0	1	0	0	10
Luces traseras deficientes	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2	3	8
Frenos deficientes	0	0	1	2	0	0	4	4	2	2	1	16
Dirección rota o defectuosa	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	5
Sobrecargado	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	5
Carga mal acondicionada	0	2	0	1	1	0	2	0	1	0	0	7
Otros defectos	6	14	6	10	6	6	19	22	17	24	131	261
Se ignora	177	250	236	174	149	145	351	326	287	184	293	2.572
TOTAL	4.650	7.821	6.694	5.818	4.886	4.443	9.434	10.704	8.650	4.901	18.182	86.183

Antigüedad de los vehículos implicados en accidentes con víctimas y defectos del vehículo, en zona urbana

ESTADO DEL VEHÍCULO	AÑOS TRANSCURRIDOS DESDE SU MATRICULACIÓN											
	-1	1	2	3	4	5	6 y 7	8 a 10	11 a 15	Más de 15	Sin especificar	Total
Aparentemente ningún defecto	2.982	4.978	3.945	3.251	2.539	2.267	5.121	4.865	3.628	1.839	33.652	69.067
Neumáticos muy desgastados	0	2	1	4	0	1	11	3	4	5	9	40
Pinchazo o reventón	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	6
Pérdida de rueda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Luces delanteras deficientes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	3
Luces traseras deficientes	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	4
Frenos deficientes	2	4	2	0	1	1	7	2	1	4	13	37
Dirección rota o defectuosa	3	1	2	1	0	0	2	2	1	0	3	15
Sobrecargado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carga mal acondicionada	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Otros defectos	10	19	9	7	9	12	26	16	20	12	738	878
Se ignora	1.533	2.721	2.022	1.640	1.325	1.217	2.508	2.340	1.611	749	3.382	21.048
TOTAL	4.532	7.725	5.983	4.903	3.874	3.500	7.676	7.228	5.265	2.612	37.802	91.100

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

APARTADO D)

Acción del peatón víctima en el momento del accidente. Año 2007

ACCIÓN DEL PEATÓN	Núm de accidentes	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total
CARRETERA					
Atravesando intersección	121	17	51	58	126
Cruzando calzada fuera intersección	540	153	215	186	554
En arcén por su derecha	68	17	23	38	78
En arcén por su izquierda	42	11	20	14	45
En la calzada por su derecha	98	22	47	37	106
En la calzada por su izquierda	59	18	21	31	70
Trabajar en la calzada	44	3	19	26	48
Reparando vehículo	24	6	17	10	33
Subir o bajar de un vehículo	19	4	6	9	19
Sobre acera o refugio	43	5	16	39	60
Otra	238	28	89	154	271
Se ignora	108	3	5	105	113
Totales	1.391	287	529	707	1.523
TRAVESIA					
Atravesando intersección	19	2	8	10	20
Cruzando calzada fuera intersección	67	14	31	27	72
En arcén por su derecha	3	0	2	1	3
En arcén por su izquierda	3	1	0	2	3
En la calzada por su derecha	10	3	5	3	11
En la calzada por su izquierda	3	2	1	0	3
Trabajar en la calzada	0	0	0	0	0
Reparando vehículo	0	0	0	0	0
Subir o bajar de un vehículo	0	0	0	0	0
Sobre acera o refugio	8	0	3	5	8
Otra	25	4	9	17	30
Se ignora	30	1	6	28	35
Totales	166	27	65	93	185
GENERAL					
Atravesando intersección	1.583	79	462	1.154	1.695
Cruzando calzada fuera intersección	2.458	256	748	1.568	2.572
En arcén por su derecha	100	20	33	57	110
En arcén por su izquierda	71	16	27	33	76
En la calzada por su derecha	277	36	124	142	302
En la calzada por su izquierda	119	25	41	66	132
Trabajar en la calzada	76	3	28	50	81
Reparando vehículo	31	6	20	14	40
Subir o bajar de un vehículo	93	10	27	63	100
Sobre acera o refugio	306	28	103	280	411
Otra	1.079	59	246	872	1.177
Se ignora	4.456	53	453	4.227	4.733
Totales	10.613	591	2.312	8.526	11.429

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Infracciones de los peatones víctimas, en carretera. Año 2007

MOTIVO DEL ACCIDENTE (INFRACCIONES DEL PEATÓN)	NÚMERO DE ACCIDENTES			NÚMERO DE PEATONES VÍCTIMAS			
	Peatones muertos	Peatones heridos	Total	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total
No respetar señal del semáforo	0	9	9	0	4	5	9
No utilizar paso de peatones	5	31	36	5	13	20	38
No respetar señal del agente	0	1	1	0	0	1	1
Irrumpir o cruzar la vía antirreglamentariamente	151	368	519	153	206	171	530
Estar o marchar por la calzada antirreglamentaria	32	89	121	33	51	44	128
Estar o marchar por el arcén antirreglamentario	1	17	18	1	9	11	21
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	0	1	1	0	0	1	1
Otras infracciones	16	63	79	17	32	37	86
Ninguna infracción	73	540	613	78	214	417	709
No especificado	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	278	1.113	1.391	287	529	707	1.523

Infracciones de los peatones víctimas, en zona urbana

MOTIVO DEL ACCIDENTE (INFRACCIONES DEL PEATÓN)	NÚMERO DE ACCIDENTES			NÚMERO DE PEATONES VÍCTIMAS			
	Peatones muertos	Peatones heridos	Total	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total
No respetar señal del semáforo	15	235	250	16	95	148	259
No utilizar paso de peatones	42	709	751	42	211	515	768
No respetar señal del agente	0	1	1	0	0	1	1
Irrumpir o cruzar la vía antirreglamentariamente	27	645	672	27	157	504	688
Estar o marchar por la calzada antirreglamentaria	4	85	89	4	22	66	92
Estar o marchar por el arcén antirreglamentario	2	11	13	3	4	7	14
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	2	22	24	2	3	19	24
Otras infracciones	17	438	455	19	82	377	478
Ninguna infracción	160	6.659	6.819	164	1.144	6.089	7.397
No especificado	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	269	1.113	1.391	277	1.718	7.726	9.721

Infracciones de los peatones víctimas, en travesía

MOTIVO DEL ACCIDENTE (INFRACCIONES DEL PEATÓN)	NÚMERO DE ACCIDENTES			NÚMERO DE PEATONES VÍCTIMAS			
	Peatones muertos	Peatones heridos	Total	Muertos	Heridos graves	Heridos leves	Total
No respetar señal del semáforo	0	3	3	0	0	3	3
No utilizar paso de peatones	1	11	12	1	4	8	13
No respetar señal del agente	0	0	0	0	0	0	0
Irrumpir o cruzar la vía antirreglamentariamente	7	27	34	7	17	12	36
Estar o marchar por la calzada antirreglamentaria	2	1	3	2	1	0	3
Estar o marchar por el arcén antirreglamentario	0	0	0	0	0	0	0
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	0	0	0	0	0	0	0
Otras infracciones	2	5	7	2	2	3	7
Ninguna infracción	15	93	108	15	41	67	123
No especificado	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	27	1.113	1.391	27	65	93	185

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Infracciones de los peatones víctimas, según edades. Año 2007

INFRACCIONES	EDADES DE PEATONES VÍCTIMAS							Total	PEATONES	
	0 - 4	5-14	15 - 24	25 - 44	45 - 64	+64	Sin especificar		Muertos	Heridos
A. TOTALES:										
No respetar señal de semáforo	3	29	40	50	53	74	22	271	16	255
No utilizar paso de peatones	20	88	61	160	160	259	71	819	48	771
No respetar señal del agente	0	0	0	0	0	1	1	2	0	2
Irrumpir o cruzar antirreglamentariamente	56	223	113	260	240	290	72	1.254	187	1.067
Estar o marchar por calzada antirreglamentariamente	4	14	28	67	38	52	20	223	39	184
Estar o marchar por el arcén antirreglamentariamente	3	1	4	11	6	5	5	35	4	31
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	2	3	2	11	4	2	1	25	2	23
Otras infracciones	26	75	71	121	108	125	45	571	38	533
Ninguna infracción	180	665	862	1.940	1.699	2.126	757	8.229	257	7.972
TOTAL	294	1.098	1.181	2.620	2.308	2.934	994	11.429	591	10.838
B. EN CARRETERA:										
No respetar señal de semáforo	0	1	1	2	0	4	1	9	0	9
No utilizar paso de peatones	0	7	2	8	7	14	0	38	5	33
No respetar señal del agente	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Irrumpir o cruzar antirreglamentariamente	13	59	40	146	104	152	16	530	153	377
Estar o marchar por calzada antirreglamentariamente	0	2	18	43	28	33	4	128	33	95
Estar o marchar por el arcén antirreglamentariamente	1	0	2	8	6	3	1	21	1	20
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
Otras infracciones	1	3	11	25	18	24	4	86	17	69
Ninguna infracción	11	35	88	215	152	157	51	709	78	631
TOTAL	26	107	162	448	315	387	78	1.523	287	1.236
C. EN ZONA URBANA:										
No respetar señal de semáforo	3	27	39	48	51	70	21	259	16	243
No utilizar paso de peatones	20	78	58	151	151	240	70	768	42	726
No respetar señal del agente	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
Irrumpir o cruzar antirreglamentariamente	41	159	70	109	126	127	56	688	27	661
Estar o marchar por calzada antirreglamentariamente	4	12	10	24	9	17	16	92	4	88
Estar o marchar por el arcén antirreglamentariamente	2	1	2	3	0	2	4	14	3	11
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	2	3	2	10	4	2	1	24	2	22
Otras infracciones	25	71	60	95	89	97	41	478	19	459
Ninguna infracción	166	615	757	1.707	1.529	1.926	697	7.397	164	7.233
TOTAL	263	966	998	2.147	1.959	2.482	906	9.721	277	9.444
D. EN TRAVESÍA:										
No respetar señal de semáforo	0	1	0	0	2	0	0	3	0	3
No utilizar paso de peatones	0	3	1	1	2	5	1	13	1	12
No respetar señal del agente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irrumpir o cruzar antirreglamentariamente	2	5	3	5	10	11	0	36	7	29
Estar o marchar por calzada antirreglamentariamente	0	0	0	0	1	2	0	3	2	1
Estar o marchar por el arcén antirreglamentariamente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subir o bajar del vehículo antirreglamentariamente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otras infracciones	0	1	0	1	1	4	0	7	2	5
Ninguna infracción	3	15	17	18	18	43	9	123	15	108
TOTAL	5	25	21	25	34	65	10	185	27	158

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Infracciones de los conductores implicados en los accidentes con víctimas, en carretera. Año 2007

TIPO DE INFRACCIÓN	Total de infracciones	CONDUCTORES DE VEHÍCULOS DE 2 Ó 3 RUEDAS				CONDUCTORES DE VEHÍCULOS LIGEROS								CONDUCTORES DE VEHÍCULOS PESADOS					Otros
		Desconocido	Bicicletas	Ciclomotores	Motocicletas	Turismos S.P.	Otros turismos	Ambulancias	Tractores agrícolas	Maquin. obras	Furgonetas	Camiones -3.500 Kg	Camiones +3.500 kg	Articulados	Autobús escolar	Otros autobuses			
SOBRE VELOCIDAD																			
Velocidad inadecuada para las condiciones existentes	10.931	16	35	381	1.631	11	7.322	5	5	11	650	155	311	27	200	2	18	151	
Sobrepasar la velocidad establecida	2.116	5	0	43	272	1	1.346	2	0	1	146	44	127	15	84	1	13	16	
Marcha lenta entorpeciendo la circulación	143	0	2	4	5	0	91	0	2	1	13	4	11	0	4	0	0	6	
Ninguna	57.453	32	920	2.668	3.395	83	38.822	32	323	88	4.642	1.359	2.810	98	1.164	24	311	682	
Se ignora	14.579	174	134	696	1.203	30	10.124	9	32	13	1.063	347	390	12	171	6	41	134	
TOTAL CONDUCTORES	85.222	227	1.091	3.792	6.506	125	57.705	48	362	114	6.514	1.909	3.649	152	1.623	33	383	989	
RESTANTES INFRACCIONES																			
Conducción distraída o desatenta	16.737	26	108	804	1.003	22	11.719	5	51	14	1.403	332	594	35	380	3	52	186	
Incorrecta utilización del alumbrado	53	0	7	16	2	2	14	0	5	1	2	1	1	0	0	0	1	1	
Circular por mano contraria o sentido prohibido	229	2	8	13	13	0	169	0	0	0	17	1	1	2	1	0	1	1	
Invadir parcialmente el sentido contrario	2.352	9	23	152	175	0	1.614	0	4	3	192	39	61	6	31	1	7	35	
Girar incorrectamente	1.410	3	45	130	20	3	865	2	54	4	142	33	46	2	20	1	3	37	
Adelantar antirreglamentariamente	1.341	6	3	103	232	3	813	1	0	0	105	16	17	1	25	2	4	10	
Circular en zig-zag	31	1	1	1	4	0	18	0	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	
No mantener intervalo de seguridad	3.343	5	18	66	222	3	2.302	5	0	1	343	117	113	3	79	1	30	35	
Frenar sin causa justificada	74	0	0	2	4	0	63	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	1	
No respetar la norma genérica de prioridad	1.242	5	26	75	33	2	803	0	11	4	94	47	76	3	30	1	6	26	
No cumplir las indicaciones del semáforo	126	0	3	17	4	0	87	0	0	0	6	2	1	0	2	0	1	3	
No cumplir la señal de stop	2.113	4	39	108	18	2	1.587	1	10	4	197	45	51	2	13	1	3	28	
No cumplir la señal de ceda el paso	475	0	5	16	14	1	343	0	1	0	56	9	17	0	8	0	0	5	
No respetar el paso para peatones	76	0	0	1	1	0	58	0	0	0	10	2	2	0	0	1	0	1	
No cumplir otra señal de tráfico o policía	95	0	1	2	13	0	60	0	0	0	6	5	3	0	4	0	1	0	
No indicar o indicar mal una maniobra	42	0	0	2	1	0	31	0	3	0	3	1	1	0	0	0	0	0	
Entrar sin precaución en la circulación	254	1	12	15	6	1	166	0	0	3	27	6	9	0	2	0	3	3	
Parada o estacionamiento prohibido o peligroso	112	2	0	3	2	0	71	0	4	1	10	8	3	1	3	1	0	3	
Ciclistas o ciclomotores en posición paralela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ciclistas o ciclomotoristas circulando fuera pista-arcén	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Apertura de puertas sin precaución	30	0	0	1	3	0	21	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	1	
Otra infracción	11.196	128	123	540	1.444	8	7.045	6	42	17	682	193	529	19	237	3	27	153	
Ninguna infracción	43.889	35	668	1.724	3.292	78	29.856	28	177	62	3.212	1.052	2.118	78	787	18	244	460	
TOTAL CONDUCTORES	85.222	227	1.091	3.792	6.506	125	57.705	48	362	114	6.514	1.909	3.649	152	1.623	33	383	989	
TOTAL DE CONDUCTORES IMPLICADOS																			
SIN INFRACCIÓN ALGUNA	34.882	19	606	1.381	2.199	62	23.727	23	160	53	2.694	832	1.798	55	667	16	225	365	

INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

Infracciones de los conductores implicados en los accidentes con víctimas, en zona urbana. Año 2007

TIPO DE INFRACCIÓN	Total de infracciones	CONDUCTORES DE VEHÍCULOS DE 2 Ó 3 RUEDAS				CONDUCTORES DE VEHÍCULOS LIGEROS								CONDUCTORES DE VEHÍCULOS PESADOS					Otros vehículos	
		Desconocido	Bicicletas	Ciclomotores	Motocicletas	Turismos S.P.	Otros turismos	Ambulancias	Tractores agrícolas	Maquin. obras	Furgonetas	Camiones -3.500 Kg	Camiones +3.500 kg	Cisternas	Articulados	Autobús escolar	Otros autobuses			
SOBRE VELOCIDAD																				
Velocidad inadecuada para las condiciones existentes	3.544	6	32	831	496	15	1.944	3	2	3	109	21	15	0	4	0	18	45		
Sobrepasar la velocidad establecida	590	3	1	95	85	6	352	1	0	1	17	9	10	1	0	0	2	7		
Marcha lenta entorpeciendo la circulación	120	0	5	18	8	0	78	0	1	2	2	3	0	1	0	0	2	0		
Ninguna	51.064	41	1.214	8.228	7.461	227	28.937	15	32	47	2.602	698	264	13	101	16	942	226		
Se ignora	34.873	75	477	4.717	4.484	774	21.010	43	5	28	1.626	633	39	6	21	9	582	344		
TOTAL CONDUCTORES	90.191	125	1.729	13.889	12.534	1.022	52.321	62	40	81	4.356	1.364	328	21	126	25	1.546	622		
RESTANTES INFRACCIONES																				
Conducción distraída o desatenta	6.687	12	118	1.307	571	65	4.029	5	10	10	275	116	28	2	11	2	77	49		
Incorrecta utilización del alumbrado	54	1	1	13	8	0	24	0	0	1	4	1	0	0	0	0	1	0		
Circular por mano contraria o sentido prohibido	219	0	30	72	15	1	86	0	0	1	9	3	1	0	0	0	1	0		
Invadir parcialmente el sentido contrario	516	2	13	70	38	3	357	0	0	2	15	6	2	0	1	1	1	5		
Girar incorrectamente	1.314	2	14	97	49	14	1.036	0	2	0	54	19	6	2	3	0	8	8		
Adelantar antirreglamentariamente	625	1	7	348	149	3	100	0	0	0	4	3	1	0	0	0	4	5		
Circular en zig-zag	43	0	1	12	4	0	25	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
No mantener intervalo de seguridad	1.021	0	6	191	96	9	631	0	0	0	38	19	6	1	1	2	14	7		
Frenar sin causa justificada	54	0	0	15	8	3	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
No respetar la norma genérica de prioridad	1.160	2	22	155	46	18	821	2	4	3	54	16	2	1	2	0	4	8		
No cumplir las indicaciones del semáforo	1.457	2	48	228	93	12	985	8	0	1	52	9	1	0	1	1	12	4		
No cumplir la señal de stop	1.358	1	19	146	40	12	1.042	0	1	1	62	19	6	1	2	1	4	1		
No cumplir la señal de cada el paso	1.878	3	24	208	44	19	1.454	2	0	2	82	17	2	1	2	1	5	12		
No respetar el paso para peatones	975	4	8	89	43	7	761	1	0	3	39	9	1	0	2	0	4	4		
No cumplir otra señal de tráfico o policía	176	0	10	33	26	1	92	0	0	1	8	4	0	0	0	0	0	1		
No indicar o indicar mal una maniobra	253	0	2	12	11	6	197	1	0	0	11	10	0	0	1	0	1	1		
Entrar sin precaución en la circulación	508	0	25	50	12	3	361	1	0	0	36	7	3	0	0	0	4	6		
Parada o estacionamiento prohibido o peligroso	138	0	0	2	4	2	97	0	1	0	15	12	0	2	0	1	0	2		
Ciclistas o ciclomotores en posición paralela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ciclistas o ciclomotoristas circulando fuera pista-arcén	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Apertura de puertas sin precaución	138	0	0	5	3	4	116	0	0	0	5	2	0	0	0	0	2	1		
Otra infracción	20.730	58	470	3.431	3.917	30	10.663	3	6	19	1.213	288	118	3	52	7	345	107		
Ninguna infracción	50.885	37	909	7.405	7.357	810	29.417	39	16	37	2.379	804	151	8	48	9	1.058	401		
TOTAL CONDUCTORES	90.191	125	1.729	13.889	12.534	1.022	52.321	62	40	81	4.356	1.364	328	21	126	25	1.546	622		
TOTAL DE CONDUCTORES IMPLICADOS																				
SIN INFRACCIÓN ALGUNA	25.405	25	612	4.407	3.752	117	14.159	2	14	24	1.111	320	134	5	41	8	559	115		



INFLUENCIA DE LA DEFENSA DE UN TODOTERRENO EN LAS LESIONES SUFRIDAS POR UN PEATÓN EN CASO DE ATROPELLO

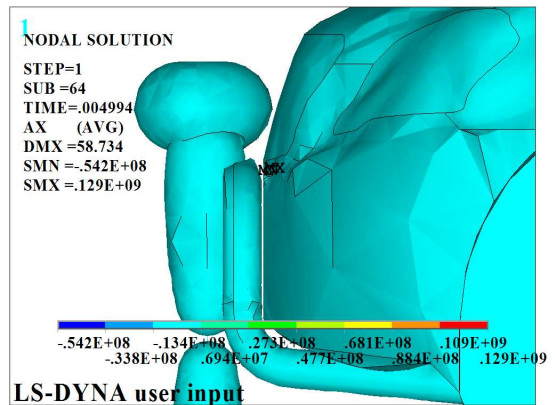
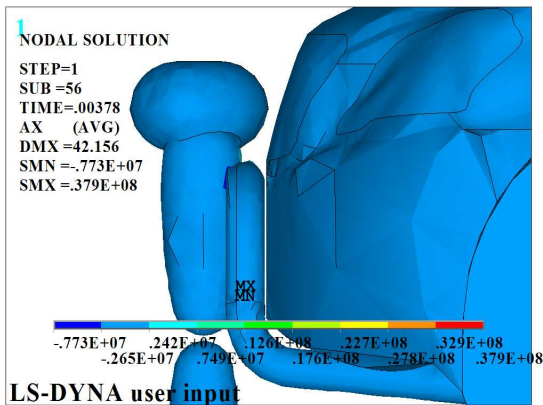
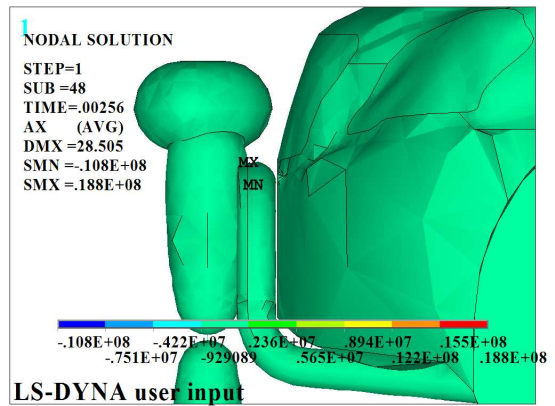
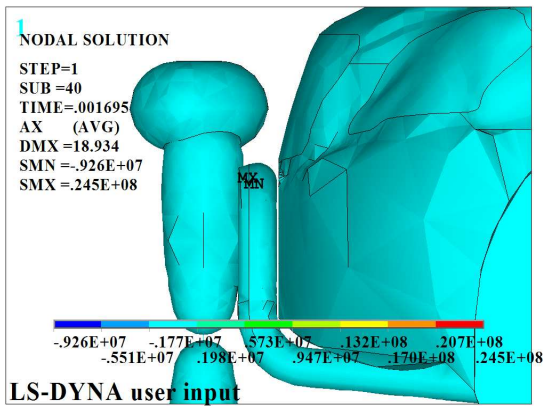
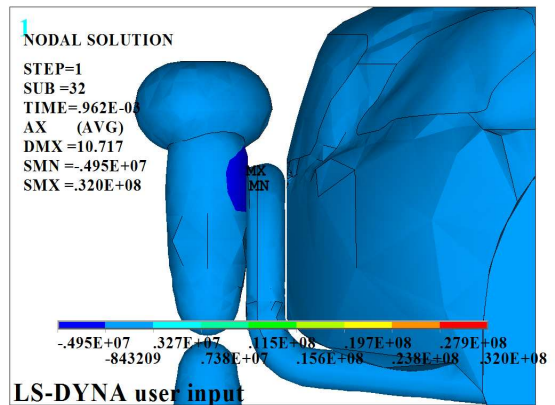
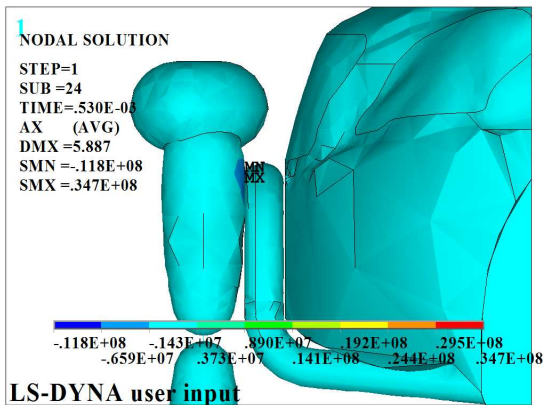
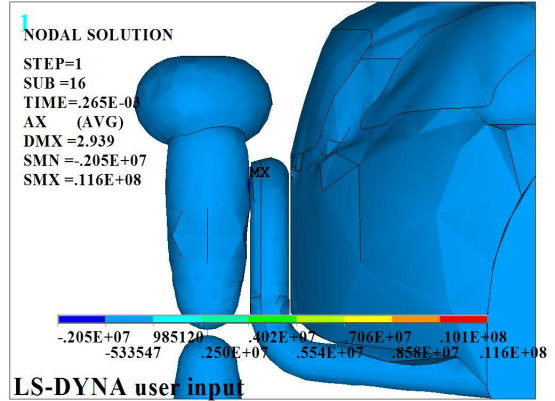
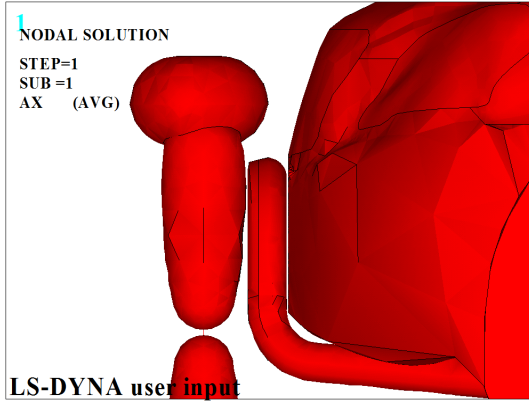
9 ANEXO II

Secuencias simulaciones

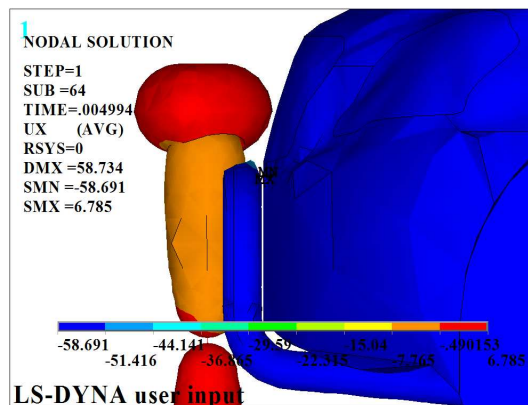
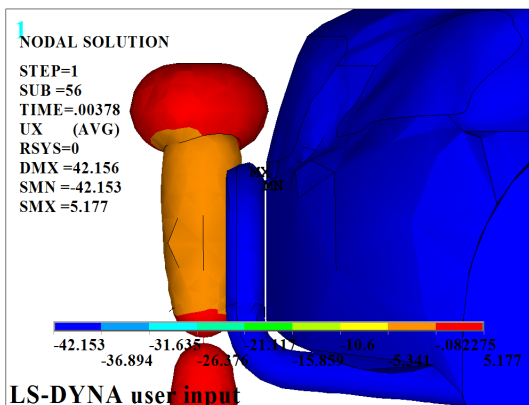
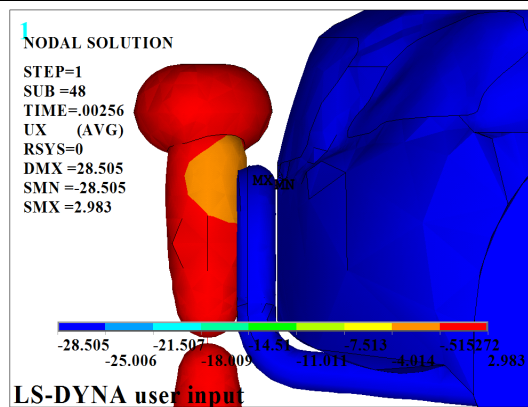
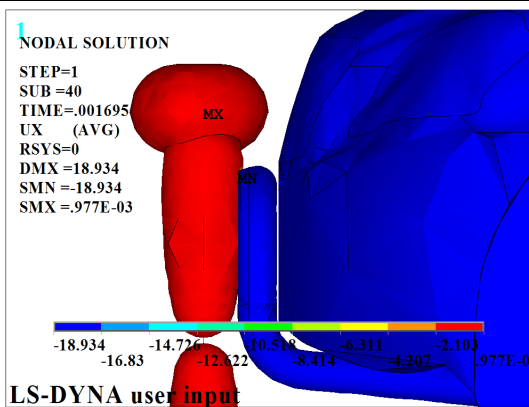
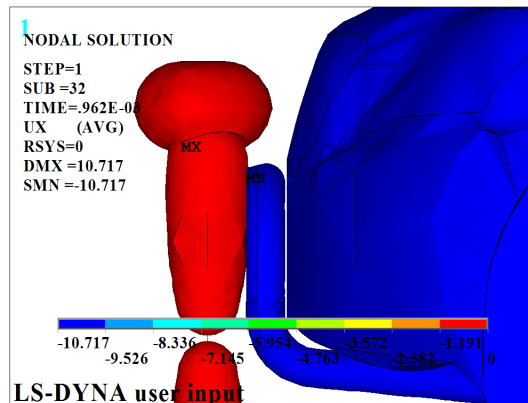
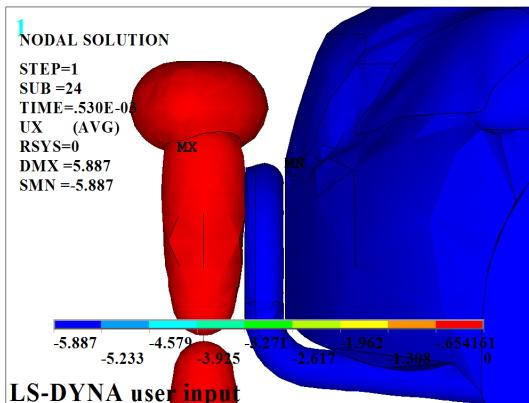
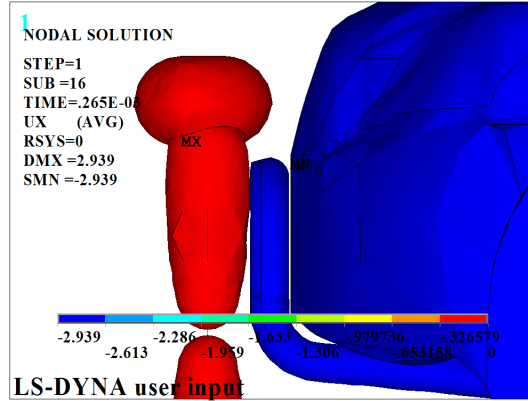
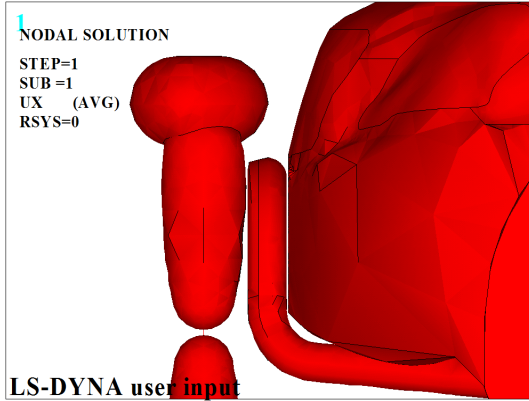
En este anexo se encuentran de manera ordenada las secuencias de las simulaciones. En cada una de ellas se muestran la evolución respecto del tiempo de la tensión, aceleración y desplazamiento.

[illegible]

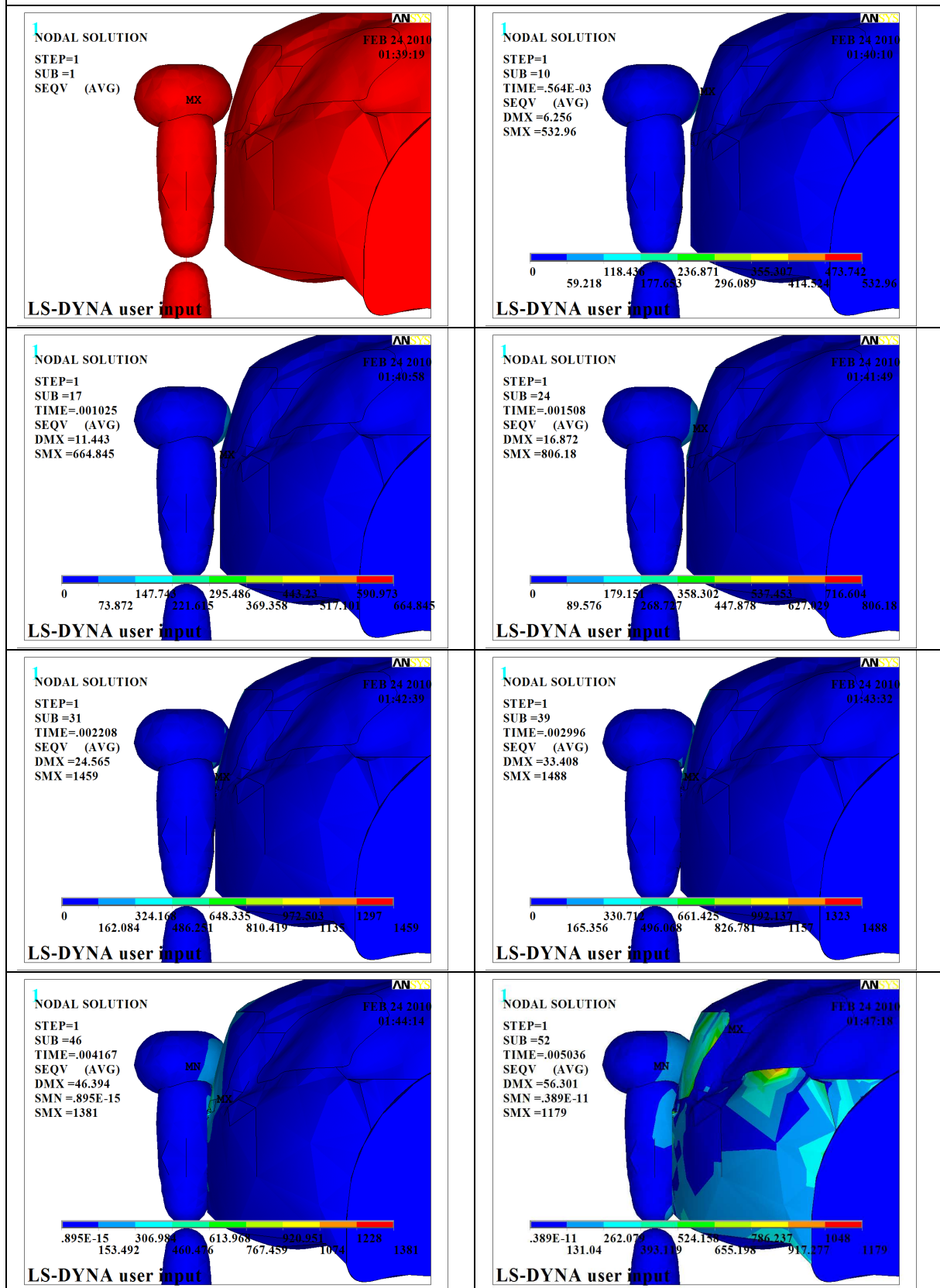
PRIMERA SIMULACIÓN - ACELERACIÓN



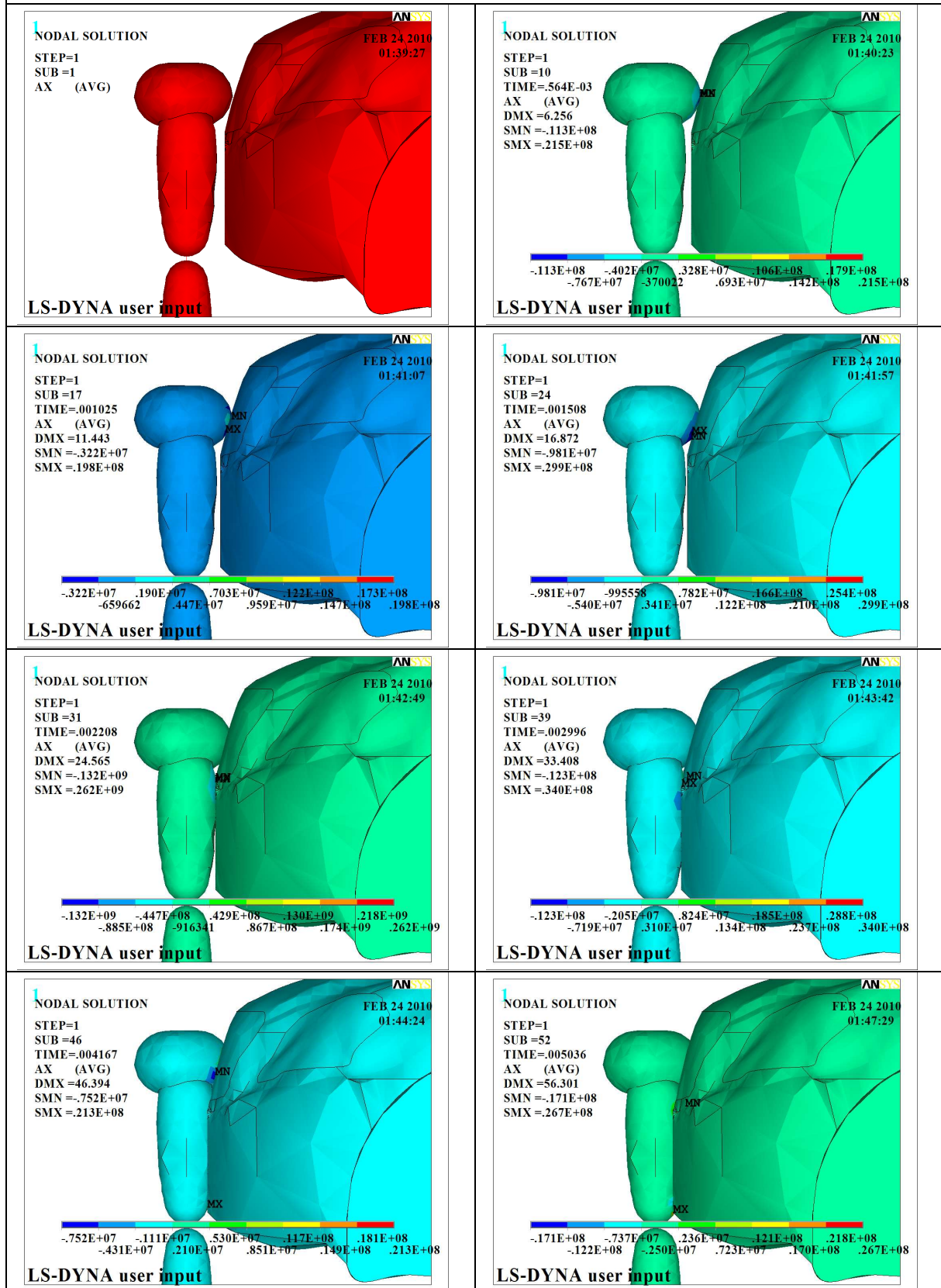
PRIMERA SIMULACIÓN - DESPLAZAMIENTO



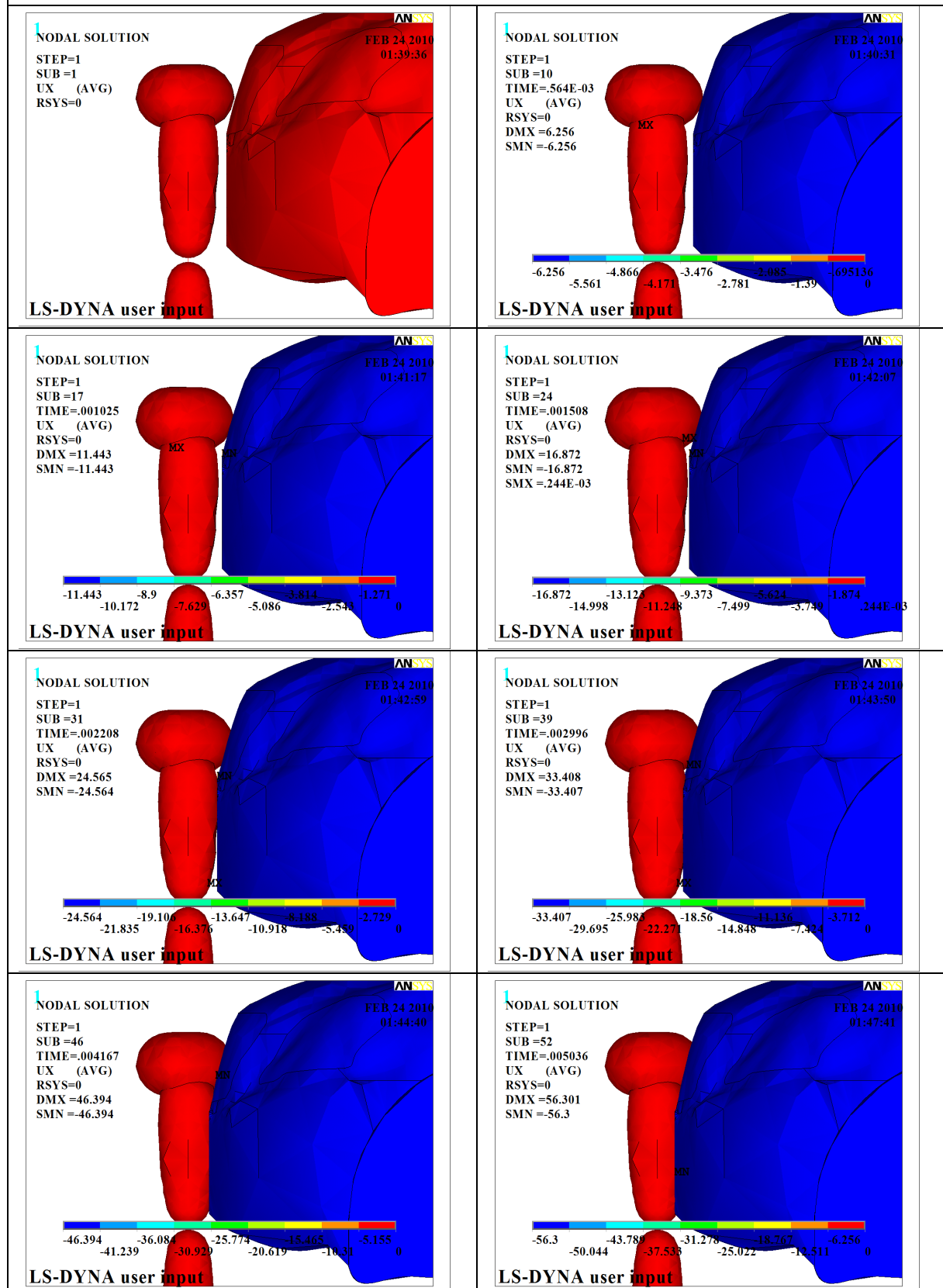
SEGUNDA SIMULACIÓN - Tensión



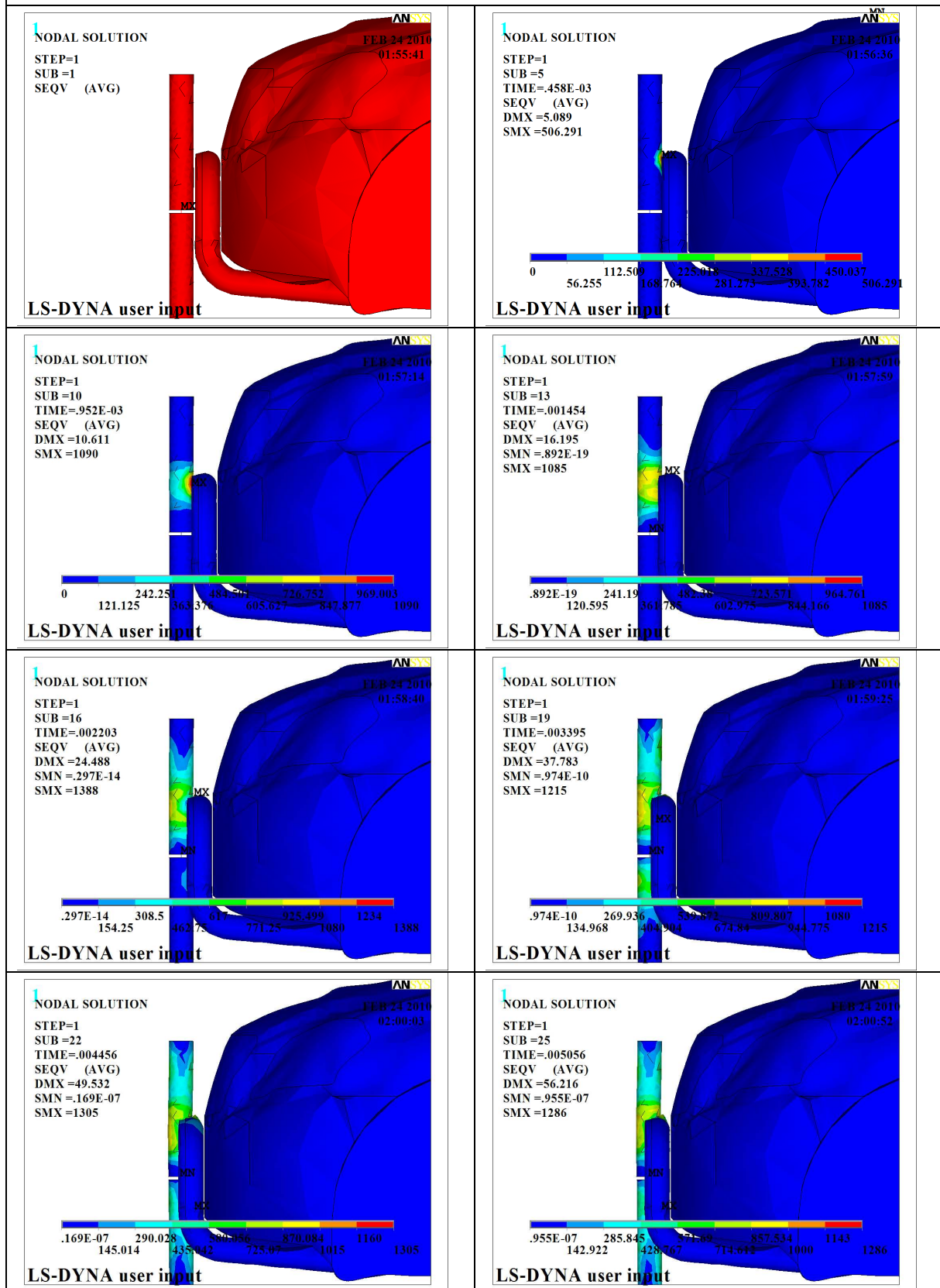
SEGUNDA SIMULACIÓN - ACELERACIÓN



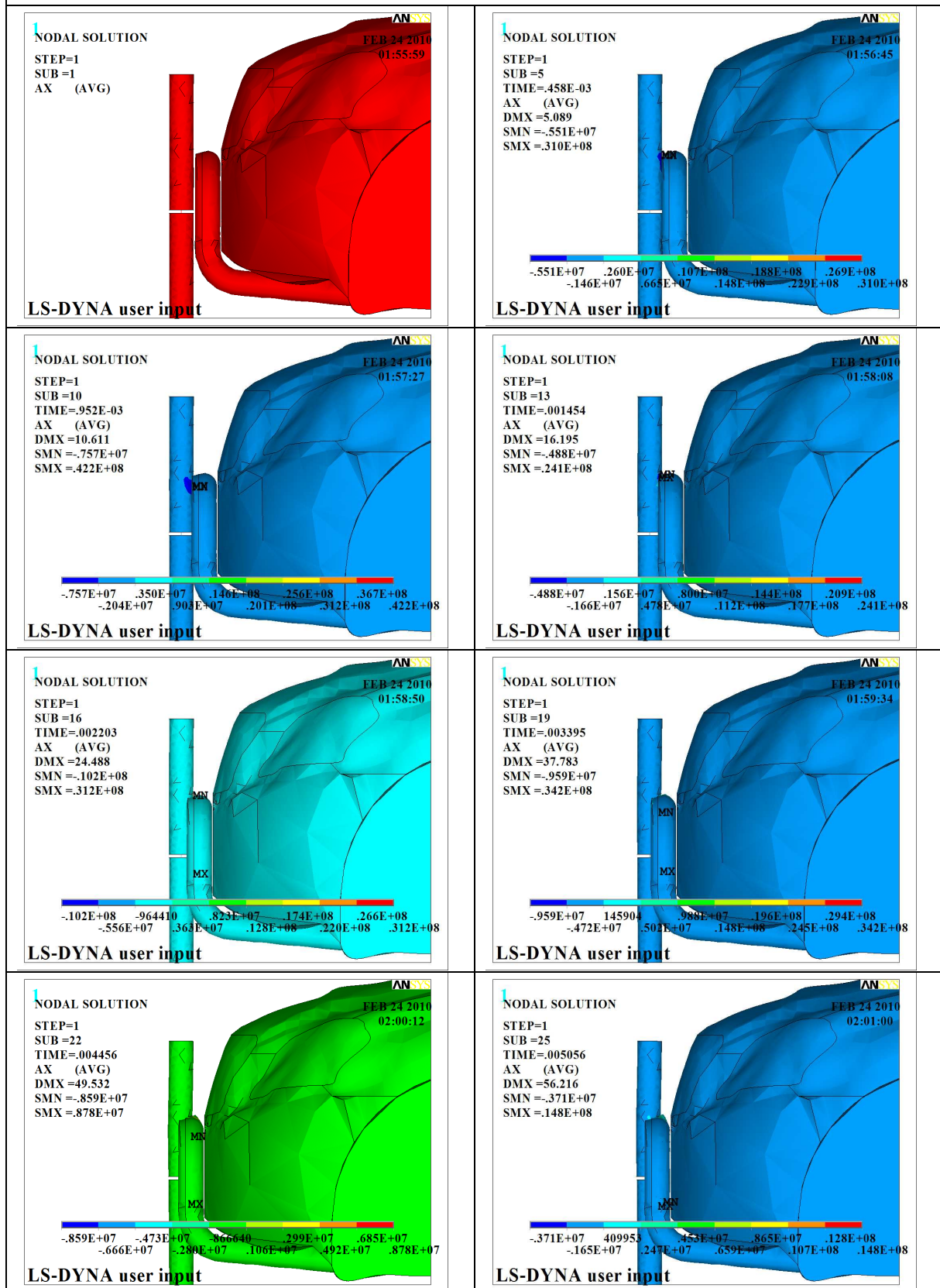
SEGUNDA SIMULACIÓN - DESPLAZAMIENTO



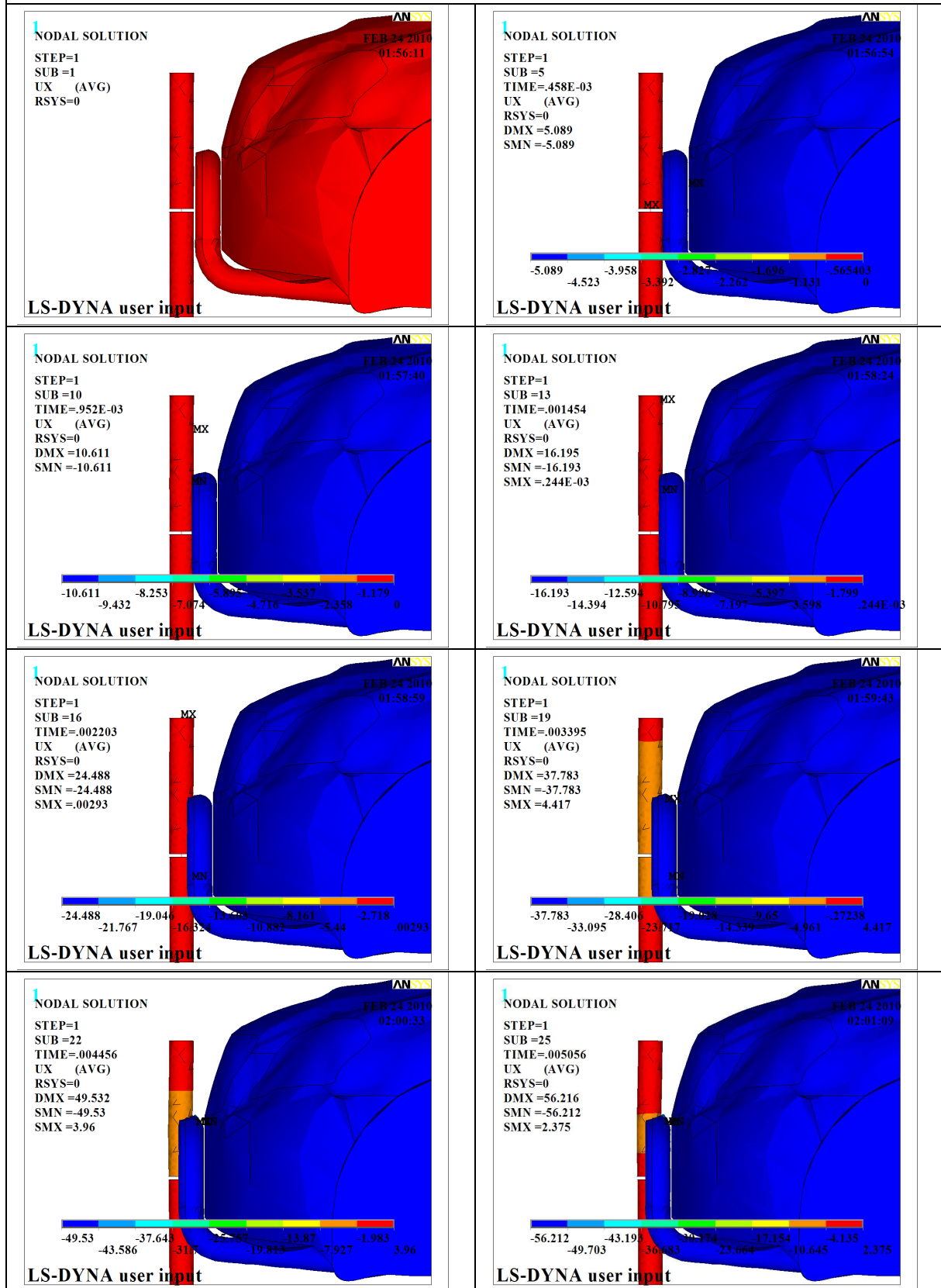
TERCERA SIMULACIÓN - Tensión



TERCERA SIMULACIÓN - ACELERACIÓN

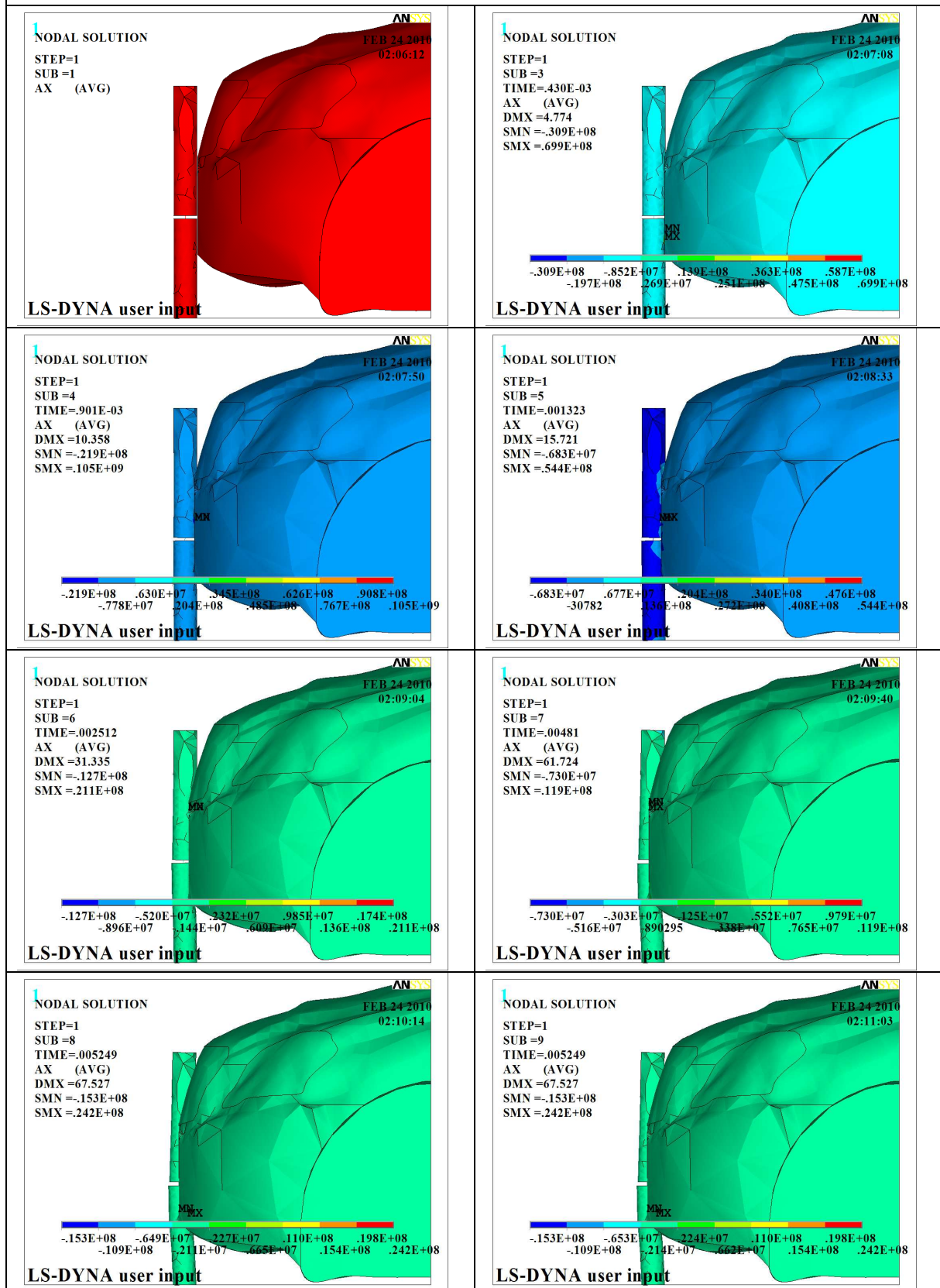


TERCERA SIMULACIÓN - DESPLAZAMIENTO



[illegible]

CUARTA SIMULACIÓN - ACELERACIÓN



CUARTA SIMULACIÓN - DESPLAZAMIENTO

